المركز القومي للترجمة

جيمس تريفل

الجانب المظلم للكون

(عَالِم يستكشف ألغاز الكون)

2718

ترجمة: رؤوف وصفى

الجانب المظلم للكون

(عالم يستكشف ألغاز الكون)

المركز القومى للترجمة
تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور
مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2718
- الجانب المظلم للكون: عالم يستكشف ألغاز الكون
- جيمس تريفل
- رؤوف وصفى
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2016

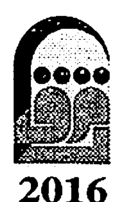
هذه ترجمة كتاب:
The Dark Side of the Universe
By: James Trefil

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.
E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

الجانب المظلم للكون

(عالم يستكشف ألغاز الكون)

تـألـيـف: جيمس تريفل
ترجمـــة: رؤوف وصفى



2016

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

تريفل؛ چيمس.
الجانب المظلم للكون: (عالم يستكشف ألغاز الكون) / تأليف: چيمس
تريفل؛ ترجمة: رؤوف وصفى.
ط١ – القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٦
٢٦٠ ص؛ ٢٤ سم
١- الكون .
٢ – الكونيات ، علم .
٣ – ما وراء الطبيعة .
(أ) وصفى ، رؤوف (مترجم)
(ب) العنوان ٥٢٣,١

رقم الإيداع ٢٠١٥/٨٢٥٤
الترقيم الدولى I.S.B.N. 978-977-92-0227-3
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

توطئة

تأمل – إذا أردت – أفكار (أرخيتاس)[1]، المولود فى (تارينتوم)[2]، إذ كان فيلسوفًا إغريقيًا وجنديًا وموسيقيًا، وصديقًا لأفلاطون[3] وتلميذًا لفيثاغورث[4].

سئل ذات يوم "هل الكون محدود أو لانهائى؟".

أجاب قائلاً: "افترض أنه محدود، معنى ذلك أن له نهاية، عندئذ يمكنك أن تسير إلى حافة الكون حاملاً رمحك، وإذا وقفت هناك وقذفت برمحك فى الفضاء إلى أقصى حد ممكن. ماذا سيحدث آنذاك؟

لا شيء فى الفراغ يجعل الرمح يرتد من جديد، ومن ثم سوف يظل مندفعًا باستمرار إلى أن يهبط. بيد أن موقع هبوطه، سوف يكون خلف النقطة التى قلت إنها حافة الكون. وقتئذ يمكنك أن تسير إلى تلك النقطة البعيدة، وتقذف بالرمح مرة أخرى، وبعدها اذهب إلى مكان الهبوط الجديد. ناهيك عن المكان الذى قلت من قبل إنه حافة الكون. فهناك دائمًا مكان خلفى، بوسعك أن تقذف الرمح إليه. ومع كل مرة، تقذف بالرمح، يصبح كونك أكثر رحابة، ونستخلص من ذلك أن الكون ليس له حافة، ومن ثم يجب أن يكون لانهائيًا".

ويقدم (أرخيتاس) ورمحه صورة مقنعة، لإحدى أعظم المحاولات المضنية، التى أخذت بتلابيب العقل البشرى فى أى وقت، السعى الدؤوب لمعرفة الحجم الفعلى وبنية

---

(١) (٤٢٨ – ٣٤٧ ق.م).(المترجم)

(٢) فى إيطاليا الآن. (المترجم)

(٣) فيلسوف يونانى يعنى اسمه "واسع الأفق" (٤٢٧ – ٣٤٨ قبل الميلاد). (المترجم)

(٤) فيلسوف ورياضى يونانى (٥٨٢ – ٥٠٧ قبل الميلاد). (المترجم)

الكون، وعلى اختلاف أبحاث علمية عديدة متشابهة، فإن ذلك السعى يحفزه - بشكل يكاد يكون كاملاً - فضول راسخ الجذور، هو التعطش للمعرفة الذى يميز العقل البشرى. ومما لا شك فيه، أن استكشاف حدود الكون على بعد بلايين السنوات الضوئية من كوكب الأرض، لن يحقق للباحث أى كسب مادى. كما أنها لن تسد رمقه ولا تمد آلات الحرب بالوقود. ومع ذلك، وعبر تاريخ العالم المدوّن، فإن كثيراً من أحسن مفكرينا الذين أنتجهم جنسنا البشرى، كرسوا أنفسهم للإجابة عن هذا التساؤل عن الكون. ونحن الذين ورثنا ثمار جهودهم، ندين بالشكر والعرفان بالجميل لهم. حتى لو لم تكن معاصروهم - فى بعض الأحيان - مقرّين بإنجازاتهم.

ولقد اكتسبنا - إلى حد ما - معرفتنا المعاصرة عن الكون، خطوة بخطوة، مثل تأمل (أرخيتاس) لحامل الرمح التخيلى. وفى معظم حقب التاريخ المدوّن، لم يمتد الكون الذى يتصوره العقل البشرى، أبعد بكثير من السماء الزرقاء ذاتها، وكان كل شخص يعرف أن السماء مرفوعة بواسطة عملاق (أو تنين، أو أى شىء آخر يمكنك تخيله).

وتم تجاهل محاورات رجال مثل (أرخيتاس)، لأنه كان من المريح أن نتقبل، كحقيقة واقعة، أننا نعرف بالفعل معظم ما كان يجب أن نعرفه عن الكون، ولكن بعد ذلك ألقى حامل الرمح - متخفياً فى زى رجل دين بولندى يدعى (نيكولاس كوبرنيكوس)[1] - رمحه، فأصبح الكون أرحب بكثير، وأشد فراغاً، مما اعتقده أسلافه. وفى القرن العشرين. اتخذ حامل الرمح، شكل العالم الفلكى (إدوين هابل)[2] الذى أوضح لنا أن النجوم التى نشاهدها أثناء الليل تنتمى إلى مجرة واحدة[3]، وأن هناك فى الكون آلاف الملايين (بلايين) المجرات. تلك المجرات التى تسكن الكون الذى لم يتخيله (كوبرنيكوس) على الإطلاق.

---

(١) الفلكى البولندى (١٤٧٣ - ١٥٤٣) الذى صاغ النظرية القائلة بأن الأرض وكواكب المجموعة الشمسية تدور حول الشمس. (المترجم)

(٢) فلكى أمريكى (١٨٨٩ - ١٩٥٣) الذى قال بأن الكون يتمدد. (المترجم)

(٣) يقصد الكاتب مجرة "الطريق اللبنى". (المترجم)

وفى الوقت الحاضر، لم يعد رمح (أرخيتاس) شيئًا من صنع الإنسان، ولكن شبه نجم (زائف)[1] يربض عند حافة الاكتشافات الكونية، ويتباعد عنا بسرعة تقارب سرعة الضوء. ولم نعد نعتقد فى المفهوم الساذج، بأن "رمحنا" سوف يهبط فى مكان ما. وحتى لو افترضنا هذا الاحتمال، فلن تكون الحقيقة مجدية لنا، إذ إن بلايين السنين سوف تنقضى قبل أن يصل الرمح إلى "كوكب الأرض". وبدلاً من ذلك، فحرى بنا، أن ندرس كيفية تحرك الرمح، ونتطلع إلى الطرق التى تترتب بها الرماح فى السماء، ونحاول جاهدين أن نحل أحجية جمع وحدات الكون معًا. ويا له من كون مروّع! وفى كل مكان تظهر فقاعات متباينة وفجوات لا حصر لها. تخيب آمال هؤلاء الذين يحاولون أن يجدوا اتساقًا بسيطًا فى الطبيعة، وحتى بنية الكون، ليست كما نعتقد، إذ إن على الأقل ٩٠ بالمائة من الكون يتكون من مادة شكلها وتركيبها مجهول لنا. وبالكاد لا يمر شهر إلا ونكتشف جانبًا جديداً أو غير متوقع للكون. وكلما اقتربنا من الأسئلة الجوهرية، تزداد نسبة ما يفصح عنه الكون من أسراره.

وقد اتضح لنا، أن معظم مادة الكون غير مرئية لنا، ولا تنبعث منها موجات ضوء أو موجات راديوية، تخبرنا عن وجودها، وربما أن تلك القبة الرحبة للسماوات والمرصعة بالنجوم، ليس بمقدورها أن تفعل شيئًا للنشاط الحقيقى للأجرام الفضائية، تمامًا مثل غصن صغير يطفو على طول قناة، لا يستطيع شيئًا إزاء الطريقة التى تتدفق بها المياه. وبمعنى آخر، لعلنا نعيش فى رحاب كون، تتحدد فيه بالكامل الأشكال المألوفة للمادة - مثل الشمس ومجرة الطريق اللبنى - بواسطة مادة لا نستطيع أن نراها، ولكننا نطلق عليها "المادة المظلمة".

---

(١) جرم فضائى يبعد عنا بآلاف الملايين من السنوات الضوئية، وعلى الرغم من صغر حجمه نسبيا، فإنه يبعث بطاقة وضياء مثل عشرات المجرات، وثمة اعتقاد بأن ثقوبا سوداء تمد هذه الأجرام الفضائية بالطاقة. (المترجم)

وكما يحدث مراراً وتكراراً، عندما تنبثق أفكار جديدة من ثنايا أحد العلوم، فإن العلاقات بين هذه الأفكار الجديدة والمشاكل القديمة، تبدأ فى الظهور، لقد واجه الفلكيون صعوبات جمة لشرح الأسباب التى تجعل النجوم تتكتل فى شكل مجرات، بدلاً من انتشارها فى الفضاء بطريقة أكثر تجانساً. ويبدو أنه كلما زادت معرفتنا بالقوانين الأساسية للطبيعة، بدا أن هذه القوانين تبلغنا أن المادة المرئية - أى المادة التى يمكننا رؤيتها - يجب ألا ترتب بالطريقة التى هى عليها. ومن ثم، فيجب ألا تكون هناك مجرات فى الكون على الإطلاق. وحتى إذا وجدت المجرات، فإنها لن تتجمع فى شكل عناقيد مجرية، كما هى عليه الآن.

ويحدق الفلكيون فى الكون، بواسطة آلات رصد تزداد قوة يومًا بعد يوم، وشاهدوا من خلالها أشياء غريبة تتشكل أمام أعينهم. فى البداية رصدوا مجرات أخرى، مثل مجرتنا "الطريق اللبنى"، ثم رأوا أن هذه المجرات تتجمع فى عناقيد. وحديثًا، وجدوا أن هذه العناقيد ذاتها، تتجمع فى تركيبات عملاقة وترية الشكل، يطلق عليها "العناقيد الفائقة".

ولعل أكثر الاكتشافات غرابة (وحداثة)، أنه بين هذه العناقيد المجرية الفائقة، مناطق شاسعة يطلق عليها "فجوات"، حيث لا تتأجج نجوم ولا تتكون مجرات.

وعلى طول هذه السلسلة المروعة من التركيبات الكونية من الأجرام التى توجد داخل مجرتنا "الطريق اللبنى" إلى أكثر العناقيد الفائقة المعروفة لنا، نجد انطباع المادة المظلمة مثل آثار الأقدام فوق الرمال. وخلال السنوات القليلة الماضية، أدركنا أنه ثمة ارتباط بين المشكلتين، مشكلة التركيب المجرى ومشكلة المادة المظلمة.

كما أننا بدأنا نرى إشارات واقتراحات، بأن التركيب المجرى والمادة المظلمة، يرتبطان أيضًا بمشكلة ثالثة مهمة، هى مشكلة نشأة الكون وتطوره.

ويبدو أننا أقحمنا أنفسنا فى وضع حرج، وبمعنى آخر، إن فشلنا فى التوصل إلى حل لسلسلة من المشاكل الكونية، قادنا إلى إدراك أن كل هذه المشاكل، يجب أن يتم حلها معًا، وأن الاتجاه لحلها على مراحل لن يؤدى إلى أى نتيجة.

وما أود أن أفعله فى هذا الكتاب، هو تعريفك بركن غريب فى العالم العلمى، حيث إن الحلول لمثل هذه الأنواع من المشاكل، يتم بحثها. إنه مكان يقذف الباحثون فيه بمجرات تحتوى على بلايين الشموس، كما يقذف صبى بالكرات الزجاجية! وحيث إن أى اكتشاف لا يكاد يتوفر له الوقت – لكى يتصدر نشرات الأخبار أو يصبح عنوانًا رئيسيًا فى مقال أو جريدة – حتى يتم التوصل إلى اكتشاف آخر، أكثر من الأول غرابة. إنه عالم يوسِّع من حدود العقل البشرى، عالم حيث تقطن – الكواركات البالغة الضآلة وأكوان الظل والأوتار الكونية – فى المشهد الطبيعى النظرى للكون. إنه مكان فقاعىّ [١] ودوامىّ مسبب للدوار، حيث تنبثق فيه وتتطور أفكار جديدة، بإثارة وحيوية، مما يبشر بإمكانية ظهور علم حديث له آفاق مستقبلية، إننا محظوظون، لأن ما نراه اليوم عبارة عن لقطة سريعة خاطفة وصورة إيقاف حركة لعلم جديد فى لحظات ميلاده.

وحيث إن كل الإجابات ليست متاحة بعد، يمكننا إذن أن نركز على سلسلة العمليات التى يقوم بها العلماء للتوصل إلى اليقين، أكثر من الحقائق نفسها. سوف نحظى بالمعرفة والفهم من خلال الدراسة، عن كيفية استبعاد الأفكار الرديئة التى ليست على المستوى وتسىء للعلم. ومن ثم، فإننى لن أشعر بالذنب عندما أخبرك بفكرتى الأثيرة حول موضوع مفضل فى مجال المادة المظلمة: "الأوتار الكونية". وكما يتضح من هذا الاسم، فإن هذه الأوتار يفترض أنها عبارة عن حبال رفيعة من خيوط مجدولة، ذات بعد واحدة من المادة المظلمة. وهذه الأوتار الكونية كثيفة لدرجة لا يمكن تخيلها، وقد تشكلت عندما كان عمر الكون جزءًا من الثانية. وفيما بعد، أصبحت تلك الأوتار بمثابة نوى حول المادة المرئية المتكاثفة، وفى الوقت الحاضر، اقترح بعض العلماء النظريين، أن الأوتار الكونية توجد فى العناقيد المجرية الفائقة التى تمتد بجلال عبر السماء. ولو كان الأمر كذلك، فإن الكون – بحق – يكون أغرب من أى شىء أمكننا تخيله إلى يومنا هذا.

---

(١) ملىء بالفقاعات أو منتج لها. (المترجم)

ويكون من الممكن – من حيث المبدأ – أن نرتحل فى سفينة فضاء إلى أحد أجزاء وتر كونى، ثم نغادره و"نسير" لبليون سنة ضوئية، أى حوالى عُشْر الطريق عبر الكون.

وفى الوقت الحاضر، وبعد مرور نحو ألفى عام على مجادلة (أرخيتاس) عن طبيعة الكون، نوشك أن نقدم إجابة عن أسئلته التى أثارها عن حجم الكون وبنيته.

وفى المختبرات الهائلة لمسارعات الجسيمات دون الذرية، وفى المراصد الفلكية التى ترصد الأجرام الفضائية البعيدة، وبواسطة حواسيب جبارة التى تجرى عمليات حسابية بسرعة مذهلة، بدأ العلماء يضيقون الخناق على حامل الرمح، لكى يحدوا من اختياراته ويقيدوا من حركته. وفى الواقع، فربما يحظى جيلنا بأن يكون له الفضل فى إمدادنا بالإجابة الحاسمة للأسئلة التى حيرت وأربكت العقل البشرى منذ فجر التاريخ المدوّن.

إزاء هذا، أرجو منكم أن تتخيلوا أنكم تغادرون مقاعدكم المريحة ذات المساند، وأن ترتحلوا معى إلى الآفاق القصيّة للمعرفة الإنسانية والخيال. على أن يكون هدفنا المطلوب تحقيقه: هو إدراك لأصل الكون وبنيته ومصيره.

الفصل الأول

آفاق ممتدة وأرض متقلصة

(عندما كنت جالسًا فى قاعة المحاضرات، أستمع إلى محاضرة الفلكى التى لاقت استحسانًا كبيرًا، سرعان ما شعرت – وبدون أى سبب مفهوم – بأننى متعب وسقيم، حتى قمت وغادرت المكان وتمشيت قليلاً بمفردى.

وفى هواء الليل الندى المفعم بحقائق روحية غير بادية للحواس.

ومن وقت لآخر، كنت أتأمل فى صمت مطبق وخشوع، تلك النجوم المتألقة فى مخمل السماء الأسود).

والت ويتمان

عندما سمعت الفلكى الواسع المعرفة

كل حضارة تنال الكون الذى تستحقه، ولا أعنى بهذا أن الكون يتغير بالفعل، عندما تتبدل أفكارنا عنه، فقط الفيلسوف الذى يعيش فى برج عاجى[1]، هو الذى يمكنه أن يدعى أمرًا كهذا. إن ما أعنيه، أننا كلما عرفنا المزيد عن الكون، تتغير الأسئلة التى نطرحها والدور الذى نحدده لبنية السماوات.

---

(١) الذى يعيش منعزلاً ويهتم بالمواضيع الفكرية الخيالية غير العملية. (المترجم)

يبدأ كل باحث بنفس الحقائق الأساسية، أن الشمس تشرق من الشرق وتغرب فى الغرب، وتبقى النجوم ثابتة بالنسبة لبعضها البعض، أما الكواكب فإنها تتحرك. ما الذى يمكننا أن نفعله بهذه الحقائق الدامغة، نبنى نموذجًا يكون بمقدوره أن يشرح هذه الظواهر الطبيعية، وكلما تعاظمت الحقائق، كتفسيرات منطقية لما نراه. وعلى سبيل المثال، فبالنسبة لزملاء (أرخيتاس)، كان الاعتقاد بأن الأرض ليست مركز الكون، أمرًا لا مجال للتفكير فيه على الإطلاق، أما فيما يتعلق بنا، فإن ذلك الاعتقاد أصبح بديهيًا، وهذا بدوره ينتج تأثيرًا معينًا، على أنواع النماذج التى نشيدها فى أذهاننا للكون.

ولو أن هناك درسًا وحيدًا، أخذ ينبع من التقدم الذى أحرزه الجنس البشرى، بفضل تصوراته وأفكاره المتلاحقة عن الكون، يمكن تلخيصه كما يلى: كلما زادت معرفتنا، ظهر لنا أن كوكبنا وجنسنا البشرى ليس جوهريًا أو مركزيًا فى الكون.

واتضح - دون شك - أننا سكان صخرة صغيرة، تدور حول شمس عادية للغاية، فى مجرة غير مميزة بصفات معينة على الإطلاق. وأدركنا كذلك أن الأمور فى الكون لا تحدث عشوائيًا، ولكن كل حدث ينظمه ويتحكم فيه، عدد قليل من القوانين الطبيعية، وهذه القوانين يمكننا أن نكتشفها فى مختبراتنا. إن كل شىء نراه فى السماء وكذلك على الأرض، يحدث بطريقة عقلانية ومنهجية منظمة. هذا هو كوننا، الذى عرفناه وفهمناه أثناء الدراسة، بيد أنه - بأى حال من الأحوال - ليس الكون الوحيد الذى يمكن أن يتخيله العقل البشرى.

ودعنى أسوق إليك بعض الأمثلة التى توضح وتفسر لك، ما أعنيه بهذا. إن أقدم التفاسير المكتوبة المتوفرة لدينا، عن الخليقة، فى الجزء من الملحمة[١] البابلية التى يطلق عليه "Enuma Elish". وقد اشتق هذا الاسم من أول كلمتين من الملحمة التى يمكن ترجمتها بعبارة "عندما نكون فى الأعلى". ومثل جميع قصص الخليقة، فإنها تقدم تفسيرًا مترابطًا منطقيًا ومتوافقًا ذاتيًا، عن كيفية وجود الكون، وكيف أنه تطور ليصبح كما نشاهده حاليًا.

---

(١) قصيدة قصصية طويلة تصور الأعمال البطولية أو الأسطورية. (المترجم)

والحدث الرئيسى فى قصة الخليقة - كما جاءت فى الملحمة البابلية - معركة دامية بين قائد الآلهة (ماردوك) والوحش (تيامات)، الذى يمثل قوى الفوضى والاضطراب، وكذلك "أم" الأرباب، واستطاع (ماردوك) أن يحقق النصر، فى هذه المعركة. وقام بقطع جسم (تيامات) إلى نصفين، استخدم أحدهما لخلق الأرض والنصف الآخر لخلق السماء، وفيما بعد، قامت الآلهة بوضع النجوم فى السماء، لتذكير الجنس البشرى، بواجباته الدينية.

ومن جديد، نعود إلى مصر. لقد كان مرور الشمس عبر السماء، حدثًا جللاً وجوهريًا لكل السكان، وفى معظم الأفكار الأولية عن الكون، كان يفسر مرور الشمس هذا، بحركة ذات طبيعة خاصة لإله الشمس بمركبته الحربية ذات العجلتين التى تجرها الخيل.

وفى إحدى صيغ القصة، التى كانت منتشرة فى المملكة الوسطى بمصر القديمة، كان إله الشمس يقود مركبته عبر السماء كل يوم. وفى المساء كان يهبط إلى العالم السفلى، حيث يخوض حربًا ضروسًا مع ملك الظلام، لكى يجاهد من أجل شق طريقه من جديد إلى ناحية الشرق، حتى يشرق مرة أخرى. أما الألوان الحمراء التى تظهر عند غروب الشمس وبزوغ الفجر، فقد نجمت عن إراقة الدماء فى هذه المعارك الطاحنة.

وإذا كنت تعتقد وتؤمن أن هذا هو التفسير الحقيقى لشروق الشمس، فمن الطبيعى أن تتقبل احتمالية، أنه ذات ليلة ربما ينتصر ملك الظلام على ملك الشمس.

واعتاد المصري القديم على طرح السؤال "هل سوف تشرق الشمس غدًا؟".

وهذا تساؤل يحب طلاب السنة الأولى للفلسفة أن يتجادلوا حوله، وهو ليس تدريبًا أكاديميًا، متعلقًا بالدراسات العقلية أو الكلاسيكية.

والمفكر المصرى القديم، لا يستطيع أن يتقبل ظاهرة شروق الشمس، كحدث تلقائى، وأمر مسلَّم به جدلاً.

وكل شروق للشمس حدث منفصل، ومعجزة موجودة ولها كينونة مستقلة، تعتمد على مدى ما حققه إله الشمس من انتصارات على ملك الظلام فى العالم السفلى، فى الليلة السابقة.

وبالنسبة للبابليين، فإنه حتى وجود الكون، كان حقيقة تصادفية[١]. إننا موجودون فى هذا الكون، لأن (ماردوك) حقق النصر على الوحش فى المعركة. وإذا لم يكن قد فعل ذلك، لسادت الفوضى التى عمت العصور القديمة، حتى الوقت الحاضر. وما كانت هناك أرض ولا سماوات، وبالتالى - بطبيعة الحال - لا يوجد جنس بشرى، يتساءل عن كيفية حدوث الخليقة.

وفى كل من المثالين، فإن السماوات البارزة الرئيسية لهذا العالم، تعتمد على أحداث لا تخضع لقوانين ثابتة، غير قابلة للتغير أو التطور. ويمكن للآلهة فقط أن يتحكموا فى الكون، وبالإمكان استعطافهم لتلبية الاحتياجات البشرية عن طريق إقامة الطقوس الدينية.

وتساورنى الشكوك، فى أن الأكوان التى تعج بالأرواح والآلهة، يمكن أن توفر إشباعًا عاطفيًا، لهؤلاء الذين يؤمنون بها، أكثر من الذى يقدمه كوننا لنا.

وعلى أية حال، فإن الكون كانت تقع فيه الأحداث، بطريقة بشرية للغاية. ولم تختف تمامًا، تلك الجاذبية التى تكمن فى هذه المعتقدات القديمة، حتى فى الوقت الحاضر.

وقد تضمن الجزء الأكبر من الحركة الثقافية المناهضة[٢] فى الستينيات من القرن العشرين، رفضًا للثقافة العلمية العقلانية، لأمريكا المعاصرة، وعودة إلى الرؤية الأكثر أسطورية للكون.

وعلى الرغم من ذلك، فقد كان هناك تجانس عاطفى، كما فى الطرق القديمة، مما أدى إلى ترك الكثير مما نرغب فيه ونصبو إليه، من الناحية العقلانية.

---

(١) حالة ممكنة ولكنها غير محتومة. (المترجم)

(٢) حركة ثقافية ذات قيم مخالفة لثقافة الجيل السابق. (المترجم)

سواء كانت ثمة معركة فى العالم السفلى أم لا، فإن الشمس تشرق بالفعل فى كل صباح. وربما تعتمد حركة النجوم والكواكب، على رغبات الآلهة، بيد أنها منتظمة ويمكن التنبؤ بمساراتها.

وإلى حد ما، فإن تقارب الحقائق الشخصية تماماً والتصادفية، للأكوان القديمة مع السلوك المنتظم للسماوات، يبدو صعب التفسير، على الأقل بالنسبة لعقل من يعيش فى القرن العشرين.

كان الإغريق هم أول من أدرك طبيعة الكون، وكانت أفكارهم تكاد تتطابق مع أفكارنا عن الكون فى الوقت الحاضر. وتميزت أراؤهم بالشكوكية[1] متقدة الذكاء، وعلى سبيل المثال، فقبل جيل كامل من عصر (أرخيتاس)، قام المؤرخ اليونانى (هيرودوت)[2] بزيارة مصر وطاف بأرجائها. وهناك أرشدوه إلى معبد يقدم فيه الكهنة، الطعام لأحد آلهتهم، فى كل مساء، وفى الصباح لا يبقى من الطعام شىء، وكانت هذه حقيقة قدموها للمؤرخ اليونانى دليلا على وجوه الإله.

وعلق "هيرودوت" على هذا بقوله "لم أشاهد أى إله، ولكنى شاهدت فئرانا عديدة حول قاعدة تمثال الإله!" وكان من الصعب ألا يعجب الناس بشخص يفكر بهذه الطريقة!

ومناقشة هذه الأفكار والمعتقدات، قادت اليونانيين إلى تصور كون كان يختلف اختلافاً بيّناً، عن التصورات التى سادت فى الأزمان الغابرة. لقد كانت أفكارهم تلقى اهتماماً بالغاً من الباحثين، إلى الحد أن نظرياتهم عن السماوات بقيت معترفاً بها حتى ما بعد عصر النهضة[3]، أى بنحو ألف وخمسمائة عام. وأتعجب إذا كانت نظرياتنا عن الكون، سوف تبقى لكل هذه السنين الطويلة!

وكان (كلوديوس بطليموس)، هو العالم الذى يقال دائماً إنه مفسرٌ الفلك اليونانى، وقد عاش بالإسكندرية فى القرن الثانى الميلادى. وعلى الرغم من أنه يحمل نفس اسم حكام مصر فى ذلك الوقت، فإنه لم يكن - فى حدود معرفتنا - ينتمى إلى العائلة المالكة.

---

(١) المذهب القائل بأن المعرفة المطلقة مستحيلة وغير مؤكدة. (المترجم)

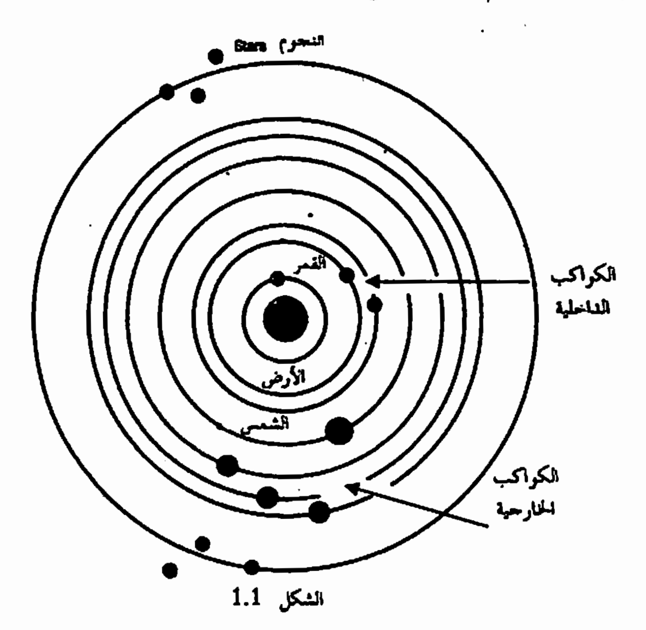
(٢) (٤٨٤ - ٤٢٥ قبل الميلاد). (المترجم)

(٣) مرحلة ثقافية فى كل المجالات، ظهرت فى إيطاليا فى القرن الرابع عشر ووصلت إلى ذروتها فى القرن الخامس عشر، وانتشرت بعد ذلك فى كل أنحاء أوروبا. (المترجم)

وعمل (كلوديوس بطليموس) فى مؤسسة تُعرف باسم "متحف الإسكندرية" وكانت بمثابة مركز أبحاث ومختبر حكومى حديث.

وكان العلماء والباحثون يقومون بعملهم ويكتبون أبحاثهم، دون أن يُكلفوا بأية أعباء تدريسية مما قد يعيق تحقيق إنجازاتهم العلمية.

واستطاع بطليموس جمع القياسات التى قام بها أسلافه اليونانيون والبابليون، وأضاف إليها ما حققه بنفسه، ثم بنى على أعمالهم السابقة، ومن ثم توصل إلى ابتكار نموذج للكون، يتضمن كل الظواهر التى تمت ملاحظتها. ويوضح (شكل ١-١). مخططا أوليا لكون بطليموس، كانت فيه الأرض فى المركز. وتدور حولها كرات بلورية، تحمل الشمس والقمر والكواكب. وكل كرة تدور بمعدل مختلف، مما يفسر حركة الكواكب بالنسبة لبعضها، وكذلك بالنسبة للنجوم. أما الكرة الأكثر بعداً عن المركز، فإنها تحمل النجوم. وهذه الكرة تدور بمعدل يزيد قليلاً عن مرة كل يوم. وتبين الدورة الواحدة، لماذا تتحرك النجوم عبر السماء فى كل ليلة، وتفسر الزيادة البسيطة فى هذه الدورة، سبب وجود نجوم مختلفة فى السماء، شتاء وصيفًا.



الشكل 1.1

وللتعليل التفصيلى لحركة الكواكب، كان يفترض أن هذه الأجرام الفضائية تتدحرج فى دوائر صغيرة (يطلق عليها: فلك التدوير)[1]، والتى تتدحرج بدورها على الكرات الرئيسية.

وقد بنى نموذج الكون البطليموسى، على افتراضين غير متحدث عنهما، ولكنهما سيطرا على الفكر اليونانى القديم. أولهما "مركزية الأرض": أى الاعتقاد بأن كوكب الأرض، فى مركز الكون، وثانيهما الفكرة بأن الحركة فى السماوات تتضمن دوائر أو كرات. وهذان الافتراضان جديران بأن نتذكرهما، لأنهما بمثابة مثالين باهرين للاعتقاد الباطل بالاعتماد على آراء واضحة للغاية، وتبدو أنها لا تقبل الجدال ولا يمكن إنكارها. وللأسف، فإن مثل هذه الآراء تكون دائمًا خاطئة، والعالم لا يتناغم تمامًا - كما نظن أحيانًا - مع الطريقة التى نفكر بها.

وعلى سبيل المثال، لا شىء يكون أكثر وضوحًا، من القول بأن كوكب الأرض ثابت، وأن الشمس والكواكب تدور حوله، وأى شخص لاحظ بانتباه غروب الشمس، يعرف أن الشمس تتحرك إلى أسفل تحت الأفق ولكى تؤمن بخلاف ذلك، يتطلب الأمر إجراء تجربة أخرى مفعمة بالحيوية والنشاط ومؤثرة، بحيث تلقى ظلالاً من الشك، على الدليل المباشر الذى أدركته حواسنا. ويمكن قول نفس الشىء على فرضية الحركة الدائرية للأجرام الفضائية فى الكون.

وقد جادل الفلكيون اليونانيون، ببساطة شديدة، أن السماوات يجب أن تكون - بشكل جلىّ وواضح - كاملة ودائمة لا تتغير. ومن ثم، فإن النجوم والكواكب يجب أن تتحرك فى مدارات توصف بأنها أشكال هندسية كاملة للغاية. وما الشكل الهندسى الأكثر كمالاً من الدائرة؟

---

(١) فى فلك بطليموس هو دائرة صغيرة يتحرك مركزها على محيط دائرة أكبر مركزها الأرض. (المترجم)

ويبدو أن الدائرة تمارس قوة غريبة على العقل البشرى. إذ كلما تحدثت عن الفلك اليونانى فى إحدى محاضراتى، كنت أقوم دائمًا بإجراء اختبار بسيط. كنت أسأل طلابى، عن الشكل الهندسى الأكثر كمالاً.

وكانت الإجابة دائمًا ثابتة لا تتغير: الدائرة أو الكرة. ولم أسمع قط أى طالب، يقول المربع أو الشكل السداسى[1].

ولو تابعت هذه النقطة، بالتساؤل: لماذا تكون الدائرة كاملة، عادة تكون هناك فترة تريث، ثم قد يتطوع شخص ما بالإجابة بالقول بأن كل النقاط على الدائرة متساوية البعد عن المركز. وإذا سألت كيف يؤدى ذلك، إلى جعل الدائرة كاملة، عندئذ يسود الصمت المطبق!

وقد كررت هذا الاختبار مرات عدة، حتى أتأكد من أن النتيجة ليست خبط عشواء أو حادثًا بالمصادفة، وهى توضح - بما لا يدع مجالاً للشك - عن طريق استخدام الأمثلة، ذلك الدور الذى يقوم به الافتراضيون خفية دون الإعلان عنها.

وثمة شعور بصحة هذين الافتراضين، ما دام لا أحد يطرح أسئلة، فكل شىء يبدو منطقيًا وحقيقيًا. بيد أن الافتراض يشبه ملابس الإمبراطور، وما أن يتسلل الشك إلى عقول الناس فإنهم، على حين غرة، يكتشفون الشىء المفقود. وهذه التجربة، تجعل الناس عادة، مرتبكين وغاضبين. وأعتقد أن هذا هو السبب فى أن الهراطقة[2] عادة ما كانوا يحرقون أحياء وهم مربوطون فى أعمدة.

وقد شكلت الافتراضات اليونانية غير المعلن عنها، لب الكون العلمى، لألف وخمسمائة سنة. وأولئك الذين عاشوا خلال هذه الفترة الزمنية، كانوا بالتأكيد أذكياء مثلنا، ومع هذا لم يخطر فى بالهم، أن يوجهوا أسئلة، تبدو لنا الآن واضحة كل

---

(١) مضلع له ستة أوجه. (المترجم)

(٢) الخارجون على الدين. (المترجم)

الوضوح. ولكن ما الذى يمكن أن يخبرنا به ذلك عن قدرة الجنس البشرى، فى تتبع افتراضاته الخفية؟ أخشى أن تكون الإجابة غير مشجعة.

وسوف نكون غير أمناء، إذا لم نحاول أن نطرح أسئلة مشابهة، عن مفاهيمنا فى القرن العشرين عن الكون. وحسبما يتراءى لى، فالافتراض الرئيسى غير المعلن عنه فى علم كون القرن العشرين، أن هناك حلاً عقلانياً ورياضياً واضحاً لكل مشكلة، حتى مشكلة خلق الكون. ويتجاوب معظم الناس مع هذا المفهوم بتشكك: كيف يمكن أن يكون غير ما هو مفترض؟ وإننى أتخيل أن اليونانى كان قد استجاب بنفس الطريقة، إذا ما تساءل شخص ما عن افتراض مركزية الأرض. ومع ذلك، فاليونانيون كانوا مخطئين وربما نكون مخطئين نحن أيضاً.

وفى الواقع، منذ زمن ليس ببعيد، قام بعض العلماء فى جامعة "بيركلى" بتحدى هذا الافتراض غير المعلن عنه، للعلم الغربى، مدعين بأن التطور الذى حدث فى ميكانيكا الكم[١]، سوف يدفع الفيزيائيين المحدثين إلى تغيير آرائهم عن الكون، لتصبح متناغمة مع البوذية[٢] أكثر من الفكر العلمى التقليدى. ولكن صادفهم سوء حظ لا يُصدق، عندما حاولوا تدعيم تحديهم هذا، قبل التقدم الذى حدث فى نظريات المجال الموحد، التى تعد أحد أعظم تطورات العلم قاطبة. وسوف نناقش هذه النظريات، فيما بعد، ويكفى هنا أن نشير – ببساطة – إلى أنها تطورت فى وقت، كانت أساسيات العلم تتعرض لهجوم شرس، وأدت النجاحات التى حققتها تلك النظريات، إلى وضع نهاية – ولو مؤقتاً – لأى محاولة جادة لتحدى افتراضنا غير المعلن عنه. وأسارع للقول بأننى أعتقد أن افتراضنا صحيح، أى أن هناك حلولاً عقلانية لمشاكل علم الكون. ويمكن التوصل إلى هذه الحلول بالتطبيق الدقيق للطريقة العلمية.

---

(١) النظرية المتعلقة ببنية وحركة الذرات والجزيئات. (المترجم)

(٢) تعاليم الفيلسوف بوذا (٥٦٠ – ٤٨٠) قبل الميلاد. (المترجم)

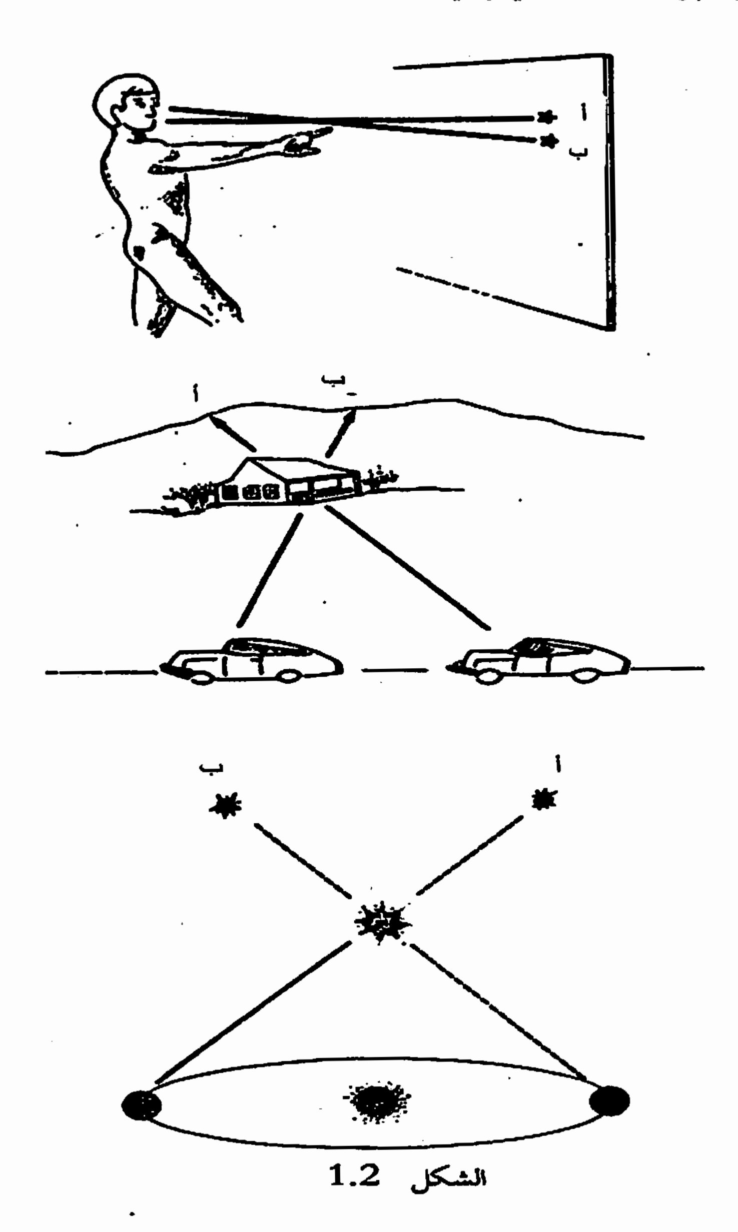
ومـا دام الآخـرون كـانوا قـد اعـتـقـدوا – بنفس قـوة اعـتـقـادنا – فى صـحـة افتراضاتهم، ثم اتضح لهم فيما بعد أنهم كانوا مخطئين، يدعونا هذا إلى أن نكون مدركين للحقيقة، بأننا علينا – نحن أيضًا – أن نطور مفاهيمنا العلمية، على أساس الافتراضات التى سوف تثبت صحتها فقط، عندما تتم الإجابة عن كل الأسئلة التى تثار حولها.

وإذا كنت تعتقد أن الأرض هى مركز الكون، إذن، فإن كونك سوف يكون – نسبيًا – مكانًا صغيرًا محدودًا. أما إذا قبلت كحقيقة أن الأرض تدور حول الشمس، فإن الكون يجب أن يكون أكثر رحابة وأشد اتساعًا، ويرجع السبب فى هذا إلى تأثير ما يُطلق عليه "التَّزَيُّح"[1]. ولتوضيح التزيح، حاول أن تمد ذراعك، وإصبع يدك موجه إلى الأمام، ثم أغلق إحدى عينيك. وبعينك المفتوحة سوف ترى إصبعك يستقيم مع هدف ما بعيد، مثل علامة على جدار، أو شجرة أو أى شىء آخر. والآن عليك أن تغلق عينك التى كانت مفتوحة ثم افتح الأخرى، وانظر إلى إصبعك من جديد. سوف تلاحظ أنه لم يعد يستقيم مع نفس النقطة، ولكن مع هدف آخر، إن هذا التزحزح (التبديل فى الموقع)، هو ما يطلق عليه اختصارًا "التزيّح".

إن هذه التجربة التى أجريتها فى التو، تم تمثيلها بمخطط بصفحة ٢٣ فى (الشكل ٢–١). (إلى أعلى). إنك عندما تنظر بعين واحدة فى اتجاه إصبعك، فإن خط الرؤية بالنسبة لك – كما هو موضح فى المخطط – يمكنّك من رؤية النقطة "أ" على استقامة إصبعك الموجه إلى الأمام. وعندما تنظر من خلال العين الأخرى، فإن خط

(١) تغير ظاهرى فى موقع الشىء المرصود وخاصة الجرم الفضائى، بسبب اختلاف مكان الرؤية. (المترجم)

رؤيتك يتزحزح، ومن ثم، فإنك ترى إصبعك يستقيم مع النقطة ب. وليس ثمة غموض هناه ولكن مجرد مسألة هندسية بسيطة.



الشكل 1.2

والأمثلة عديدة على هذه الظاهرة. فإذا كنت تقود سيارتك على طول طريق سريع، كما هو موضح فى (الشكل ٢-١). (فى المنتصف)، فربما يبدو لك منزل يتحرك عكس الخلفية البعيدة. وهذه الحركة الظاهرية، أحدثتها الحقيقة، التى مفادها أنه بينما تتحرك سيارتك، فإنك تنظر إلى هذا المنزل من زوايا مختلفة على طول الطريق.

ولنفترض الآن، أن الأرض تتخذ لها مداراً حول الشمس بالفعل، كما هو موضح فى (الشكل ٢-١). (إلى الأسفل). فإذا نظرت إلى نجم قريب فى فصل الصيف، فإنك سوف تراه يستقيم مع نجم أكثر بعداً، مثل المميّز بحرف "أ" فى الشكل. وبعد ستة أشهر، عندما تكون الأرض فى منتصف المسافة من مدارها حول الشمس، سوف يكون أقرب نجم على استقامة مع شىء مختلف مثل ذلك النجم المميز بحرف "ب". تماماً كما بدا المنزل يتحرك، عندما كانت سيارتك تتحرك على طول الطريق السريع، فالنجوم والكواكب يجب أن تظهر وكأنها تتحرك، مثل الأرض التى تنطلق فى مدارها.

و"التزيّح النجمى"، أى الحركة الظاهرية للنجوم التى تسببها حركة الأرض فى مدارها، يمكن رصدها بواسطة التيلسكوبات الحديثة، بيد أن التأثير يكون ضئيلاً للغاية، إلى حد أنه لا يمكن أن يُكشف عنه، بأى من أجهزة الرصد الفلكية التى كانت متوفرة لليونانيين أو لعلماء العصور الوسطى. كل ما كان لديهم الملاحظة بالعين المجردة. وبالنسبة لهم لم يكن هناك أى تزيّح، ومن ثم كانت هذه حقيقة مهمة استندوا إليها، ضد أى محاولة تهدف إلى اعتبار الأرض ليست فى مركز الكون، ووضعها فى مكان آخر.

وعلى الرغم من اقتراح بعض "العلماء" اليونانيين مثل (فيثاغورث) و(هيباركوس)[1] أن الشمس ربما تربض فى مكان مركزى فى الكون، فإن مجادلاتهم لم تؤخذ على محمل الجد.

---

(١) فلكى يونانى شهير (١٩٠ - ١٢٠) قبل الميلاد. (المترجم)

والسبب فى الغياب الواضح للتزيّح، أن الكون مترامى الأطراف ورحب إلى حد أنه لا يمكن رؤية أى تزيّح بالعين المجردة. ولم يقترح وجود التزيّح إلا فى القرن السابع عشر. وكان نموذج الكون البطليموسى، متوافقًا إلى حد كبير مع طريقة تفكير العلماء فى العصور الوسطى.

وما إن قُدِّم هذا النموذج لأوروبا فى القرن الثانى عشر (عن طريق ترجمة من الكتب العربية المأخوذة من النصوص اليونانية القديمة) اجتاح الجامعات كالعاصفة الهوجاء. وكان الاعتراض الوحيد لنموذج الكون البطليموسى – وفق ما توصلت إليه – من (إيتيين تيمبيى) أسقف[1] باريس، الذى قام فى عام ١٢٧٧ بإصدار ٢١٩ شجبًا وإدانة وتوبيخًا حادًا، للتعليم اليونانى الجديد، الذى كان يدرّس فى الجامعات الأكاديمية.

ويبدو أن اعتراضه الرئيسى، ينحصر فى أن الحديث عن قوانين الطبيعة، يجعل الكليات العلمية تحد – إلى حد ما – من سلطة الرب. وأعترف: (فى قرارة نفسى، أن هذا الجدل يصيبنى بالقشعريرة!)

وعلى أية حال، فإن الكون البطليموسى، سرعان ما اندمج مع الفكر المسيحى، كما هو واضح فى (الشكل ٣-١)، الذى يمثل حفرًا خشبيًا من "قصص الكتاب المقدس" تأليف (مارتن لوثر)[2]، الذى نشر فى عام ١٥٢٤، وتظهر فيه عملية الخلق، كرات متحدة المركز وجنة عدن فى المركز.

---

(١) رجل دين مسيحى ذو منزلة رفيعة. (المترجم)

(٢) (١٤٨٣ – ١٥٤٦) راهب ألمانى وأستاذ للاهوت، قام بثورة ضد الكنيسة. (المترجم)



الشكل 1.3

ويطابق الكون البطليموسي الرأى الذى ساد من قبل عن الكون "الروحى" الذى احتل فيه الإنسان مكانة متوسطة، حيث يوجد الجحيم أسفل قدميه والجنة من فوقه. والأجرام السماوية كالنجوم والكواكب، كانت بين الإنسان والسماء. وتزودنا البراكين بلمحات ونظرات خاطفة عن العالم السفلى، واللون الأزرق للسماء وقت النهار، كان انعكاساً لبهاء الجنة ومجدها.

ويذرع الشياطين الأرض أثناء الليل، عندما تقوم الظلال بحجب الوهج السماوى، وهذا دليل آخر على منطقية هذا الكون، وقد قام عالم كبير ولاهوتى عظيم

هو (توماس أكويناس) (١٢٢٤ - ١٢٧٤)، بتأسيس مبدأ حق العقل العلمى، ليعمل وفقًا لقواعده الذاتية، ضمن الإطار الأكبر للعقيدة المسيحية، وهذا ما زاد من قوة فكرة أن الأرض هى مركز الكون، وسارت هذه الفكرة جنبًا إلى جنب مع العقيدة المسيحية.

وهكذا، جمع مفهوم الكون فى العصور الوسطى، أفضل ما فى كلا الكونين: فلك اليونانيين العقلانى الذى يتضمن الظواهر الكونية والميثيولوجيا[١] التى سادت فى العصور القديمة، وكانت تشبع احتياجات ورغبات وتوقعات الحياة والطبيعة الروحية. ولا عجب أن الكنيسة والسلطات العلمانية فى أواخر عصر النهضة، كانوا مترددين إلى حد كبير، فى التخلص من هذا التركيب.

ومع هذا، فقد تخلصوا من ذلك التركيب بمرور السنين، إذ إن الافتراض اليونانى القديم، الذى يشكل جزءًا لا يتجزأ من نظام بطليموس فى الفلك، لم يقو على الوقوف أمام الرصد بواسطة الأجهزة المتقدمة.

وعندما حاول بطليموس حساب حجوم ومعدلات دوران الكرات التى داخل الكرات، قام بتعديل النتائج حتى تنسجم مع الأرصاد التى كانت متاحة فى عصره. وهذا مشابه لضبط ساعتك وفق المرصد الفلكى البحرى فى الولايات المتحدة الأمريكية. وإذا قمت بالتعديل بدقة، سوف يسير كل شىء على ما يرام لفترة، سواء كان ذلك كونًا أو مجرد ساعة.

ولكن مع مرور الوقت، فإن أى خلل بسيط فى ساعتك، سوف يخرجها من التزامن[٢] مع الوقت الصحيح، وكلما طال انتظارك، زاد التعارض الظاهرى، وقد حدث نفس هذا الشىء لكون بطليموس الذى يشبه الساعة الفلكية.

---

(١) مجموعة من الأساطير الخاصة بشعب ما وعاداتهم ونظمهم الاجتماعية. (المترجم)

(٢) الوقوع فى زمن واحد. (المترجم)

وفى أواخر العصور الوسطى، أبدت الساعة الفلكية القديمة جليا عدم دقتها، فإذا قام الفلكيون بحساب الموقع الذى يجب أن يكون فيه أحد الكواكب، يتضح لهم أنه ليس هناك.

وقد أجرى البعض تجارب غير حاذقة ومحاولات تجريبية لتعديل فكرة الكرات الكونية. ولكن بسبب الاحترام الفائق لتعاليم الأقدمين، لم يفكر أحد بجدية فى التفحص الشامل، من أجل إجراء الإصلاحات الشاملة لنظام بطليموس الفلكى.

وكان هناك استثناء واحد، رجل دين بولندى منعزل عن الآخرين، يعمل فى كاتدرائية[1] تقع على نهر "فيستولا"[2]. إنه (نيكولاس كوبرنيكوس) الذى لم يزعج نفسه بالمشاكل التى أفرزها النظام البطليموسى، بسبب محاولات مواءمة النظرية والتفكير النظرى مع الملاحظات الفلكية الفعلية.

والواقع أن (كوبرنيكوس) لم يظهر براعة كفلكى أو راصد للكون. وبدلاً من التحديق والنظر بتمعن إلى النجوم، قضى وقت فراغه فى مكتبه، يدرس بعناية وترو، ويتفحص بدقة ويتأمل، ويصمم النماذج الرياضية. وكان هدفه أن يتعرف على إمكانية ابتكار نموذج للكون، يعمل مثل كون بطليموس، ولكن تتخذ فيه الأرض مداراً حول الشمس، وليس العكس.

وكما حدث، فإن الإجابة عن هذا السؤال كانت بالإيجاب، فقط بسبب تلك الطريقة القليلة الكفاءة التى جمعت بها المعلومات فى النظام البطليموسى.

واليوم، نحن نكرّم (كوبرنيكوس) ليس لأنه قدم لنا النموذج الحديث للمنظومة الشمسية أو لأن منظومته كانت أكثر بساطة من منظومة بطليموس، ولكن لأنه كان الشخص الوحيد فى العصر "الحديث"، الذى واتته الشجاعة أن يفكر فيما لم يخطر على بال أحد من من قبل، والشجاعة والمثابرة فى الدفع بأفكاره وآرائه، إلى ما بعد ملكوت التأمل الفلسفى. إن (كوبرنيكوس) هو الشخص الذى أوضح أن ملابس

---

(١) كنيسة مركزية ضخمة. (المترجم)

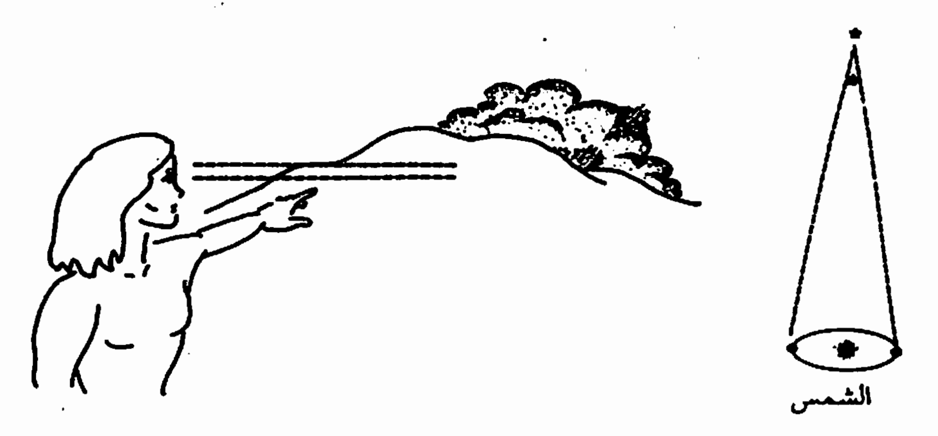
(٢) أطول نهر فى بولندا طوله ١٠٤٧ كيلو مترا. (المترجم)

الإمبراطور قد تكون غير موجودة، ومن ثم، أصبح كل شخص يأتى بعده، ينظر إلى "مركزية الأرض" كمجرد افتراض، يمكن مناقشته مثل أى افتراض آخر.

وبعد أن تمت الموافقة على هذا الرأى، كان لابد من نبذ الفكرة التى سادت فى العصور الوسطى عن الكون المحدود والمغلق. ولتفسير حركات الكواكب، كان من الضرورى، أن توضع الشمس فى المركز، وينظر إلى الأرض على أنها تتخذ مداراً حولها.

ولتوفيق هذه النظرية مع غياب "التزيح"، كان من الضرورى افتراض أن النجوم والكواكب كانت أكثر بعداً فى الكون، عما تخيل أى شخص من قبل.

لاحظ كيف تسير هذه المجادلة. لقد قدمنا التزيح من قبل، بالمثل الذى يتضمن استقامة شىء بعيد مع إصبع يدك، أولاً بفتح إحدى عينيك، ثم بالعين الأخرى. حاول أن تفعل نفس الشىء، مع شيئين بعيدين، مثلا تل مرتفع وسحابة تنساب فى السماء. سوف ترى فى التو، أنه على الرغم من أن العينين المتناوبتين ستجعلان التل والسحابة يتحركان بالنسبة للأشياء القريبة الأخرى، فإنهما لن يقفزا بحركة دائرية فى كل اتجاه، بالنسبة لبعضهما، وهذا موضح إلى "اليسار فى (الشكل ٤-١) والسبب فى اختفاء التزيح عن الأنظار هو أن الاختلاف فى الزاوية بين خطىّ الرؤية، ضئيل للغاية بحيث لا تتمكن العين من مشاهدته.



الشكل 1.4

وبالنسبة للعين، فإن خطىّ الرؤية متوازيان تمامًا. ولكن لن يكون هناك أى فرق إذا اخترت أى خط منهما، حيث ستكون النتيجة واحدة، وهى أن الأشياء لا تتحرك بالنسبة لبعضها. وبنفس الطريقة، إذا كانت النجوم والكواكب بعيدة بعدًا شاسعًا عن الأرض (انظر إلى الجانب الأيمن من الشكل ٤-١)، فلا يمكن رؤية التزيح، دون منظومات رصد وكشف متقدمة. ومن ثم، فإن قبولنا لكون كوبرنيكوس، يتطلب أن تكون النجوم بعيدة للغاية عن الأرض. وللتوصل إلى نموذج أفضل للمنظومة الشمسية عما تصوره بطليموس، فإن علينا أن نتخلى عن الفكرة المريحة التى سادت فى العصور الوسطى عن محدودية الكون، ونواجه الحقيقة بأننا نعيش فى كون، كل دلالاته وأهدافه، تدل على أنه غير محدود، كما اقترح (أرخيتاس) ورامى رمحه.

ولم يكن (أرخيتاس) هو الشخص الوحيد - عبر التاريخ - الذى فكر مليًا فى احتمالية أن يكون الكون غير محدود. ففى القرن الرابع عشر، كان له نظير هو الكاردينال[1] (نيكولاس أوف كوسا)، الذى ناقش فى كتابه "عن الجهالة المكتسبة بالتعلم"، أن الإنسان - أينما يقف - يعتقد أنه فى المركز، ومن ثم، فإن "الكون مركزه فى كل مكان، ومحيط دائرته ليس فى أى مكان" وهذا التصور القَبْلى المذهب للشكل الحديث للكون، تجاهله معظم العلماء والباحثين.

ولهذا السبب، عندما تحددت آفاق الكون، بنظرية (كوبرنيكوس)، كان من الصعب على أى شخص أن يكون مستعدًا لمواجهة هذه الصدمة.

ومع هذا عندما استقرت الأمور وخفت حدة الاعتراضات، انبثق تصور يشبه إلى حد كبير فكرتنا عن الكون الحديث. ولم يعد الجنس البشرى يرى فى نفسه أنه يحتل مركز الكون، ولكن - بدلاً من ذلك - أصبح يعتقد أن موطنه الكبير، كوكب الأرض، عبارة عن كرة صخرية تتخذ مدارًا حول الشمس، بصحبة الخمسة كواكب التى كانت معروفة فى ذلك الوقت.

---

(١) عضو كنسى بارز فى المذهب الكاثوليكى المسيحى يعينه البابا. (المترجم)

وخارج مدار كوكب زحل، على بعد مسافات مروعة لا يمكن تخيلها، تنساب النجوم فى الفراغ. ولم تعد السماء سقفًا يطوّق كل المخلوقات، كما أنها لم تعد تعكس الإشعاع اللطيف والمريح للجنة.

بيد أننا اكتسبنا شيئًا ليعوضنا عن هذه الخسارة. وعلى الرغم من أن السماء لم تعد سقفًا، فقد كانت – على الأقل – مدخلاً ومنطقة حدودية. وإذا وجب علينا الاعتراف بأننا لسنا فى مركز الكون، فلدينا القدرة على مواجهة الحقيقة الكاملة، بصدر رحب يريحنا ودون أن نغفل أو يغمض لنا جفن، ونستمر فى بحثنا، لنستخلص من كوننا المتمدد، كل أسراره الكامنة فى أعماقه. وربما بعد أن ننتهى من أداء هذه المهمة، سوف نقارن بين الإنجازات التى حققناها، والتكاليف التى تكبدناها لتحقيق هذه الإنجازات.

بعض الملاحظات الشخصية

إن إحلال التصور الوجدانى والروحى للكون، الذى أشبع الرغبات والتوقعات والاحتياجات، بالكون الذى تميز بالآلية ومنهجية العلم، لم يحظ بقبول عالمى عبر العصور، وسطور (والتر وايتمان) التى تصدرت هذا الفصل، تصريحًا واضحًا للرأى المعارض، الذى – على الأرجح – يمكن أن يصدر عن شخص ما. وتعد حركة الثورة الثقافية المضادة فى الستينيات من القرن العشرين، أحدث اندلاع مفاجئة لهذا الاتجاه.

إن كل من يقوم بالتدريس فى إحدى الجامعات، لن يستطيع أن يبقى غير مدرك للحقيقة، بأن عددا كبيرا من الناس – حتى الحاصلين على تعليم عالٍ – يوافقون تمامًا على الرأى الذى عبر عنه (وايتمان).

وثمة اعتقاد سائد – على الرغم من أنه نادرًا ما يكون قادرًا على التعبير عن نفسه بسهولة بشكل واضح ومؤثر – إنه بدراسة أمر ما بطريقة تحليلية، فإننا ندمر

ما يكمن فيه من جمال مثير للإحساس العاطفى والفكرى. وعبر عن هذا (وردز وورث) بقوله "إننا نقتل لكى نتفحص ونحلل بطريقة ناقدة ودقيقة" وقبل المضى فى تفحص تفاصيل كون الثمانينيات من القرن العشرين، أود أن أقرر هنا بأن هذا الكون جدير بذلك النوع من الإعجاب المتسم بالحساسية المرهفة للجمال، الذى وهبها (وايتمان) لليلته المرصعة بالنجوم.

ومن ناحية أخرى، فإن الفكرة التى أثارها (وايتمان)، غير قابلة للمناقشة: أن التجربة الحسيّة المباشرة، تكون دائمًا هادفة أكثر من التحليل النوعى. وهذا هو أحد الأسباب، التى تضع فيها برامج الفضاء تأكيدًا كبيرًا على إخراج صور للأشياء التى يتم اكتشافها، حتى لو كانت هذه الصور بألوان غير حقيقية، ولكن هذا لا يماثل القول بأننا "يجب أن نرى الأشياء مباشرة بأعيننا المجردة، حتى يمكننا إدراك قيمتها".

إننا نستطيع الاستمتاع بصور جبال "الهيمالايا"[1]، ونستخلص منها متعة جمالية، حتى لو كنا لم نسافر إلى "كاتماندو"[2] قط. أرجو أن تنظر إليها من هذه الوجهة: اخرج إلى الخلاء أثناء الليل و"تطلع بصمت تام إلى النجوم"، وسوف ترى على الأكثر نحو ألفين وخمسمائة نجم، وكوكب واحد أو اثنين. إننى أتفق معك، أن هذا المشهد رائع للغاية، بيد أنه مجرد قطرة فى دلو، مقارنة بما هو موجود فى الكون من أجرام فضائية، إذ إن مجرتنا (الطريق اللبنى) بمفردها تحتوى على أكثر من عشرة بلايين نجم[3]، وهى مجرد واحدة من بلايين المجرات التى يزخر بها الكون. وإذا قيدنا معرفتنا بالكون، بما يمكننا إدراكه بشكل مباشر عن طريق الحواس، فإننا بهذا نتعمد

---

(١) سلسلة من الجبال تمتد لنحو ٢٤٠٠ كيلو متر، وتمر فى الصين والهند ونيبال وباكستان وبوتان وأفغانستان. (المترجم)

(٢) عاصمة دولة نيبال فى آسيا. (المترجم)

(٣) البليون ألف مليون. (المترجم)

التقليل من قيمة أبحاثنا، بقبول تجربة أقل ثراء مما يجب أن تكون عليه. ولا ريب أنه شيء رائع، أن نرى نجمًا في السماء التي نقوم بدراستها، ولكن ثمة جمال أخاذ في صورة المجرة المأخوذة بالأشعة تحت الحمراء[1]، صورة لحلقات كوكب زحل التي التقطتها المركبة الفضائية (فوياجير)، أو صورة مُنشأة بالحاسوب، لعنقود هائل من المجرات، يبعد عنا بمسافات مروعة، وهو ينتشر بجلال عبر السماء. وبالتأكيد ثمة دور لكل من الشاعر والتكنولوجي في علم الفلك المعاصر. بيد أن هناك أمرا بالغ الأهمية، لم يستطع نقاد العلم إدراكه، وهو الذي يتعلق بما حدث في الكون الحديث.

حقًا إننا استبدلنا بكون له بعد آدمي - أي ميال للضعف والخطأ الإنساني - آخر مترامي الأطراف بشكل لا يمكن تخيله وكذلك أكثر تعقيداً. وعلى الرغم من ذلك، أليس من الأهمية أن يشبع كوننا قدرتنا على الفهم والتعلم والتفكير بالإضافة إلى احتياجاتنا ورغباتنا وتوقعاتنا ووجداننا وخلجاتنا؟

أليس من الأهمية، أن كوننا، بالرغم من هذا الاتساع الهائل والتعقيد المروّع، مازال العقل البشري قادرًا على سبر غوره واكتشاف ذلك النظام الجوهري الدقيق والمنطقي الذي يحكمه، والذي يدعم تعقيده؟

نعم، لقد استبدلنا بكون يتخيل فيه البشر، أن بمقدورهم السيطرة على الآلهة، من خلال مجموعة من الطقوس والشعائر الدينية، آخر تكون فيه سيطرتنا على الطبيعة، تتأتى من خلال إدراك قوانينها الأساسية، ولكن - في الحقيقة - هل يمكنك أن تستبدل جراح مشعوذا إذا كنت مصابًا بالتهاب الزائدة الدودية؟

لقد قمنا بالفعل بمقايضة كون يتدخل فيه الخالق جل شأنه في الأمور البشرية، بكون آخر يقتصر فيه دور الإله، على ابتداع قوانين الطبيعة ثم يدع - بعد ذلك - كل الأشياء تنتشر وتتفتح ذاتيًا، دون الحاجة إلى أي تدخل آخر منه.

---

(١) إشعاع كهرومغناطيسي حراري غير مرئي. (المترجم)

ولكن أليس من الأفضل أن يكون لك إله، يعرف كيف يدير أمور الكون بالطريقة الصحيحة وبدقة تامة؟

كل ما يمكننى قوله، إننى أفضل كونًا تسيطر عليه الحقائق الواضحة والثابتة للقوانين الفيزيائية، ويتميز بجماله الأخاذ فى كل أجزائه، وقد ابتدعه العقل البشرى. وإننى لن أستبدل هذا الكون المعاصر، بأى كون آخر ذكر آنفًا.

الفصل الثانى

اكتشاف المجرات

قال رفيقى الطيب: "الآن يجب أن نصلى، انظر! لقد اختفت النجوم وهذا شىء عجيب.

وقال قائد الأسطول الشجاع: "ماذا يمكننى أن أقول؟

"قل واصلوا الإبحار! واصلوا الإبحار".

جواكين ميلر

"كولومبوس"

ما إن نبذ العلماء فكرة أن الشمس توجد فى مركز الكون، وأن الكون أصبح أكثر اتساعًا ورحابة، بدأ الناس فى التساؤل عن كيفية جمع أجزاء الكون معًا. لقد كان فلكيو القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، مثل رحالة اكتشفوا قارة جديدة، تحتاج إلى من يسبر غورها ويرسم خرائط دقيقة لتضاريسها.

ما دامت القدرة على رصد الأجرام الفضائية فى السماء، كان يحد منها قوة التليسكوب ودرجة استجابته، فإن الراصد الذى يستخدم تليسكوبًا أكبر كان بمقدوره التوصل إلى اكتشاف عظيم.

وبتعاقب السنين، أثار تفحص الكون بدقة، سؤالين جوهريين يمعن العلماء التفكير فيهما: كم يبلغ حجم مجرة "الطريق اللبني"؟ هل هناك جزر كونية أخرى - أى مجرات - فى الكون؟

ومع كل اكتشاف جديد، يزداد حجم الكون المدرك عن طريق الحواس، ومرة تلو الأخرى، وجد الفلكيون أنفسهم يرصدون كونًا مروعًا أضخم من أى شيء تخيلوه. وكان التطور التاريخى لحامل الرمح العتيق، مرتبطًا بشكل واضح، بمدى مقدرة الإنسان المعاصر، على الإجابة والتعامل مع السؤالين المذكورين آنفًا.

وإذا وقفت بالخلاء فى ليلة صيف صافية، وتطلعت إلى السماء، لشاهدت - بلا ريب - مجرة "الطريق اللبنى". حشد من بلايين النجوم (معظمها لا يرى بالعين المجردة)، تندمج معًا لتكوّن دربًا مزبدًا، عبر الظلمة. إنه أكثر السمات البارزة والمثيرة، لليل السماء. كما أنه يمدنا بأول مفتاح للغز بنية الكون، خارج المنظومة الشمسية. وعمومًا فإنه يمكن اعتبار "توماس رايت Thomas Wright" (١٧١١ - ١٧٨٦)، الفيلسوف الطبيعى[١] الإنجليزى، أول شخص تأمل بفاعلية فى بنية (إن لم يكن حجم) المجرة، التى نطلق عليها فى الوقت الحاضر "الطريق اللبنى". وتغلب على مصنفه الذى كتب حوالى عام ١٧٥٠، النزعة الصوفية الغامضة وطابع القرون الوسطى العتيق. ونظر إلى الكون باعتباره من خلق الله جل شأنه، وأن دراسته وتفحصه بدقة، مقترنة بعلم اللاهوت[٢].

وفكر بمنطق أن الله خلق الكون فى أكمل صورة، ومن ثم، فلا بد أنه شيّد فى شكل كرات. ودأب الفلكيون الذين يتبعون نظرية (إسحق نيوتن)[٣]، بينما كانوا يقومون بحساب المدارات البيضاوية للكواكب، على أبعاد المجال الكروى إلى خارج المنظومة الشمسية، بيد أن (رايت) قام بمحاولة جريئة لإعادته إلى داخل إطار الكون الأكبر.

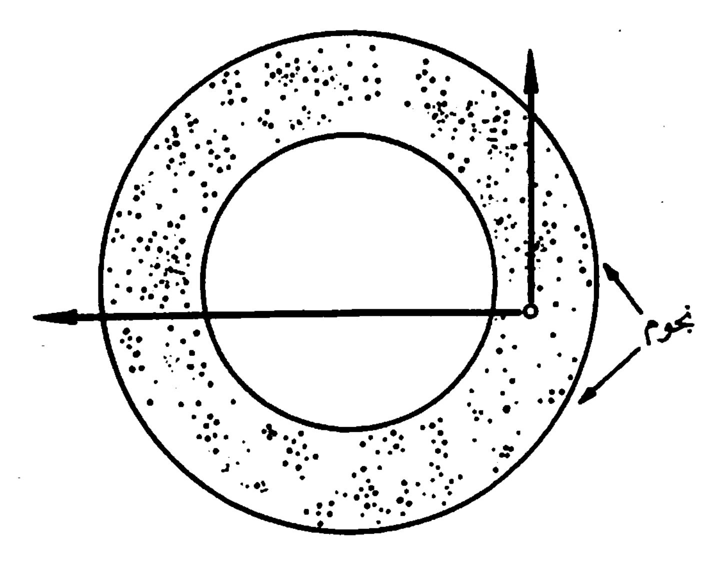
---

(١) الفلسفة الطبيعية (أو فلسفة العالم الفيزيائى)، مصطلح يُطلق على دراسة الطبيعة ومادية الكون. (المترجم)

(٢) دراسة طبيعة الله والحقيقة الدينية. (المترجم)

(٣) عالم إنجليزى شهير (١٦٤٢ - ١٧٢٧) فى الفيزياء والرياضيات. (المترجم)

وثمة مخطط أوليّ للكون كما تصوره (رايت) فى (الشكل ١-٢)، حيث توجد النجوم داخل دائرتين متحدتى المركز. والجنس البشرى، الذى يستوطن كوكب الأرض، يتحدد موقعه فى مكان ما بين الشكلين الكرويين، كما هو موضح فى الرسم.



الشكل 2.1

وعندما ننظر فى اتجاه المماس[١] للدائرتين، فإن خط رؤيتنا سوف يقطع نجومًا عديدة. ومع هذا، إذا تطلعنا اتجاه الخارج بعيدًا عن المركز، أو إلى الداخل نحو المركز على طول نصف القطر، فإننا سوف نرى عددًا قليلاً للغاية من النجوم. وهذا التنسيق – طبقًا لتصور (رايت) – يبرر لوجود مجرة "الطريق اللبنى"، ويحدد اتجاه المماس للدائرتين.

وتتضمن هذه المجادلة إفادة عن حجم الكون، حيث يجب أن يكون نصف قطر الدائرة الداخلية، كبيرًا بقدر كاف، حتى إننا عندما ننظر إلى الداخل، عبر مركز الدائرة الكونية، فإننا لا نرى تركيزًا متكاثفًا للنجوم، إلى الجانب البعيد.

(١) خط أو منحنى يلمس ولكنه لا يتقاطع مع آخر. (المترجم)

كـذلك يجب أن يكون نصف القطر كـبيـرًا بقـدر كـاف، حـتى إننا إذا نظرنا تماسـيًا، فلن نرى التـقـوس فى المجـرة، بل سـوف تبـدو لنا - إلى حـد مـا - كـخط مستقيم.

وأعتقد أن (رايت) لم يتابع البحث فى هذه النقطة، حتى يتمكن فى نهاية الأمر، من تقدير حجم الكون برمته، إذ إنه تصوّر العلم كوسيلة لتلقين الدروس الأخلاقية، أكثر من كونه هدفًا فى حد ذاته. وفى عام ١٩٦٦، تم الكشف عن بعض من مخطوطاته التى لم تنشـر، وكـان عنوان إحـداها "أفكار ثانيـة أو فـردية عن نظرية الكون"، وتضـمنت نموذجًا مبنيًا أكثر على اللاهوت، وفيه تكون الشمس فى مركز دائرة مفعمة بالنجوم. واستـخدم (رايت) قياس التشبيه[١] لبعض الظواهر الطبيعية الأرضـية - مثل زلزال لشبونة[٢] - لتفسير مجرة "الطريق اللبنى"، كحمم[٣] سمـاوية تتدفق فى مجال الدائرة الكونية.

ويبدو أن هدفه كان منظومة، فيها نسق من الأكوان المادية والأخلاقية المتناظرة تمامًا فيما بينها.

ويصعب القول، عما إذا كان (رايت) يريد الرجوع إلى النماذج السالفة للكون أو أنه مبشر بعلم حديث. وقد حاول أيضًا علماء الاجتماع الذين يتبعون الداروينية[٤]، فى أواخر القرن التاسع عشر، أن يرسموا تناظرًا وظيفيًا، بين النظام البيولوجى للطبيعة والنظام الاجتماعى للجنس البشرى. وهذا ما يفعله أيضًا الماركسيون[٥].

(١) شكل أو حالة من الاستدلال أو الاستنتاج المنطقى. (المترجم)

(٢) زلزال رهيب ضرب مدينة لشبونة عام ١٧٥٥، ويعد الأشد فتكا وتدميرا فى التاريخ. (المترجم)

(٣) مقذوفات البراكين. (المترجم)

(٤) نظرية فى النشوء والارتقاء طورها (داروين). (المترجم)

(٥) أتباع (كارل ماركس) (١٨١٨ - ١٨٨٣) وهو فيلسوف ألمانى واقتصادى وعالم اجتماع. (المترجم)

ولم يغب عنا ذلك الاتجاه باستخلاص تناظرات بين العلم والحقائق الاجتماعية والأخلاقية، خاصة فى العصور الأكثر تنويراً. وأذكر - على سبيل المثال - أننى قرأت أطروحة، جادلت قوانين ميكانيكا الكم[(١)]، وبرهنت على أن جدول أعمال الحركة السياسية النسائية الجذرية، والتى ذاع صيتها فى أواخر السبعينيات من القرن العشرين، كانت البنية السياسية الوحيدة، التى تتناغم مع العالم الطبيعى.

ولكن تماماً كما أدرك العلماء الذين أتوا بعد (رايت)، أن شكل الكون ليس له أى علاقة، بالتعاليم الأخلاقية للكنيسة الأنجليكانية[(٢)]، وكما أننا أدركنا بدورنا، بما لا يدع مجالاً للشك، أن التزامنا الأخلاقى يدفعنا إلى الاهتمام بمن هم أقل حظاً منا، والذين ليست لهم أى صلة عما إذا كانت الطبيعة تعمل طبقاً لمبدأ البقاء للأصلح[(٣)] أم لا. وآمل أن يتمكن خلفاؤنا من العلماء - فى نهاية الأمر - من تبين أن قوانين الطبيعة موضوعية، وأنها لا تشتمل على أية تعاليم عن كيف علينا أن ننظم مجتمعنا أو نعيش حياتنا. ولتحديد مثل هذه الأمور، فإننا أحرار فيما نفعله.

ولم يتبع (رايت) كثير من رجال العلم فى بحثه عن نظام أخلاقى فى خضم الكون. وجاءت أول محاولة حديثة، لسبر غور مجرة "الطريق اللبنى"، بواسطة (وليام هيرشل)، الذى ولد فى ألمانيا فى عام ١٧٣٨، وكان قد استهل حياته العملية كعازف مزمار فى أوركسترا عسكرية، ثم هاجر إلى إنجلترا، حيث أصبح موسيقياً مرموقاً وصانع آلات موسيقية.

كما أنه قام - بجانب عمله الأساسى - بتأليف بعض المقطوعات الموسيقية. ولم يكن هذا هو السبب الرئيسى لاكتسابه الشهرة فيما بعد. وعندما عرض مسار[(٤)] (أدلر) فى شيكاغو، مجموعة من الأجهزة الفلكية القديمة، كانت هناك لوحة تصويرية

---

(١) نظرية فيزيائية أساسية خاصة على المستوى الذرى ودون الذرى. (المترجم)

(٢) الكنيسة الإنجليزية والكنائس الأخرى المتوافقة معها. (المترجم)

(٣) أساليب أخلاقية لإجراء النجاح الشخصى والمؤسسى. (المترجم)

(٤) قاعة فيها جهاز يظهر حركة سير الشمس وكواكب وأقمار المجموعة الشمسية. (المترجم)

تمثل (هيرشل) يحدق فى السماء، بينما كان هناك تسجيل لإحدى مقطوعاته الموسيقية التى تعزف على البيان القيثارى[١] ترافق الأفلام التسجيلية الدعائية.

وقرر (هيرشل) فى نهاية الأمر، أن يجعل من هوايته الفلكية اهتمامه الأساسى، وعلى الرغم من انخفاض دخله نتيجة لهذا القرار، فإنه أصبح فلكيًا محترفًا.

وقد انصبت أبحاثه على رسم خريطة للسماء، عن طريق إحصاء عدد النجوم التى كان بمقدوره رؤيتها، عندما كان يوجه تليسكوبه فى اتجاه معين. مفترضًا أن النجوم موزعة - بشكل أو بآخر - على نسق واحد فى الفضاء، وعلل ذلك، أنه عندما رصد مساحة شاسعة عبر الكون (أو بالأحرى عبر المجرة)، كان يرى عددًا هائلاً من النجوم. وإذا نظر فى اتجاه نحو الحافة، فإنه لا يشاهد الكثير منها. والخلاصة التى توصل إليها من مخطط مسح السماء: أن الكون مسطح، ولكنه غير منتظم الشكل، شىء ما يشبه أميبا[٢] مهروسة. ويبدو مخطط (هيرشل) لمجرة الطريق اللبنى، فى (الشكل ٢-٢).



الشكل 2.2

وبينما كان المسح النجمى للسماء يجرى على قدم وساق، تم التوصل إلى سلسلة أخرى من الاكتشافات الفلكية تتعلق بأجرام سماوية ضبابية يكتنفها الغموض، أطلق عليها "السدم" (أى السحب الكونية). وعندما تكون ظروف الرصد جيدة، يمكن رؤية هذه السدم. بالعين المجردة.

---

(١) آلة وترية قديمة تشبه البيانو. (المترجم)

(٢) كائن دقيق وحيد الخلية. (المترجم)

وقد كانت معروفة للفلكيين العرب فى القرن الثامن الميلادى، ويمكنك أن ترى بنفسك أحد هذه السدم، إذا نظرت إلى كوكبة[1] (أندروميدا) "المرأة المسلسلة"[2]، التى تكون فوق مستوى الرأس، فى السماء خلال فصلى الخريف والشتاء. وما سوف تراه، رقعة ضوء ضبابية بيضاء، أكبر كثيراً من أن تكون نجماً، بيد أنها ليست براقة للغاية أو تمثل مشهداً مثيراً. وعندما تمت دراسة بعض هذه السدم بالتليسكوبات، اتضح أنها تشتمل على نجوم مرئية على خلفية متألقة ولكنها غائمة، وكان الفيلسوف الألمانى (إيمانويل كانت)[3]، وهو أول من اقترح - فى عام ١٧٧٥ - أن هذه السدم، ربما تكون جزراً كونية أخرى، كالمجرات، مثل مجرتنا (الطريق اللبنى)، وبسبب الافتقار إلى وسائل الرصد الحديثة، التى توفر فحصاً أكثر دقة لتراكيبها، بقى السؤال عن الهوية الذاتية للسدم أكثر فلسفياً منه علمياً.

وفى عام ١٨٤٥، كان (ويليام بارسونز) إيرل[4] (روس)، يمتلك تليسكوباً شيد فى إنجلترا، وكانت أهم أجزائه التشغيلية، مرآة قطرها - الذى لم يسبق له مثيل - يبلغ اثنتين وسبعين بوصة. وأمكن له باستخدام هذا التليسكوب القوى ، أن يسبر غور التركيب الحلزونى للعديد من السدم فى السماء. وعلى الرغم من أنه كان يجرى أرصاده فى فترة سبقت توفر إمكانية تصوير الأجرام السماوية للفلكيين، فإن رسوماته التخطيطية للسدم، تذكر الإنسان بالصور الحديثة التى التقطت للمجرات حيث تظهر بوضوح بالغ، تلك الأقراص الدائرية المسطحة وأذرعها اللولبية الممتدة. ولأن بعض السدم تبدو كأن شكلها المسطح ينسب إلى مجرة (الطريق اللبنى)، كان عمل (روس) مجدداً للاهتمام بالاقتراح القديم بأن الكون جزيرة منعزلة.

---

(١) حشد من النجوم تكوّن شكلاً أو صورة. (المترجم)

(٢) أقرب مجرة كبيرة إلى مجرتنا (على بعد مليونى سنة ضوئية)، تحتوى على نحو مائتين وخمسين بليون نجم (المترجم).

(٣) (١٧٢٤ - ١٨٠٤) فيلسوف ألمانى شهير. (المترجم)

(٤) لقب إنجليزى رفيع مثل مركيز. (المترجم)

واستمرت المجادلة حول طبيعة السدم، خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر، وحتى القرن العشرين، وقد أظهرت بعض السدم تركيبًا حلزونيًا، بينما بدا البعض الآخر، كسحب دوّارة من الغاز، تحتضن عددا قليلا من النجوم المبعثرة فى غير انتظام.

ولو كانت السدم هى بالفعل جزر كونية على أبعاد شاسعة، مثل مجرتنا، إذن فلماذا تبدو البعض منها على شكل سحب من الغاز واضحة للغاية؟ وإذا كانت السدم كلها داخل مجرة (الطريق اللبنى)، فلماذا يظهر البعض منها، فى شكل حلزونى، يشبه إلى حد كبير تجمعات النجوم؟ وثارت مجادلة عنيفة بين علماء الفلك حول هذا الأمر، ما يربو عن ستين عامًا – جيلين من الأبحاث العلمية الدقيقة – وكما سوف نرى، لم يتم التوصل إلى حل حاسم لها حتى العشرينيات من القرن العشرين. وكانت الإجابة النهائية للسؤال عن طبيعة المجرات هو "كل ما تقدم ذكره". وهناك سدم ترتبط بمجرة الطريق اللبنى، هى سحب من الغاز يتخللها عدد قليل من النجوم. وثمة سدم أخرى عبارة عن مجرات مثل مجرتنا. وليس هناك حل وحيد للغز الذى يكتنف طبيعتها، إذ اتضح أنه يوجد سدم من كلا النوعين.

وتلك فترة ذات شأن فى التاريخ، وذلك لأسباب متعددة. وفى الصفحات التالية من هذا الكتاب، سوف نناقش سؤالاً مشابهًا، يمكن صياغته على النحو الآتى "ما المادة المظلمة؟". وحتى وقت قريب، فكر مليًا علماء الفيزياء الفلكية فى هذا السؤال، وجنحوا إلى الاقتداء بأسلافهم، إذ حاولوا حل المشكلة بافتراض أن هناك نوعًا واحدًا من المادة المظلمة.

واجتهدوا لإيجاد شىء ما، يمكن أن يؤدى كل الأفعال التى من المفترض أن تؤديها المادة المظلمة. وإننى أشعر بسعادة غامرة، عندما أقول بأنه عندما واجه هذا السعى عدة مشاكل، أبدى زملائى مرونة كافية، للشروع فى النظر إلى إمكانية أن نأخذ فى الحسبان "كل الاحتمالات الآنفة الذكر".

والمجادلة الطويلة التى ثارت حول الهوية الذاتية للسدم، تضرب مثالاً - من جديد - لمدى سهولة وتلقائية، القيام بحجب الإدراك الحسى الواضح والبصيرة.

وقراءة الأبحاث التى تمخضت عنها تلك المجادلة عن طبيعة السدم، تبين بوضوح بالغ، مدى ضحالة وتواضع هذه التجربة العلمية. وكان ثمة جيلان من أفضل العقليات العلمية فى العالم، يتابعون بالحاح فى وجه مصاعب شتى وأوقات عصيبة، تلك المشكلة العصيبة، فقد وضعوا نظم القياس، وقاموا بمناقشات مستفيضة فيما بينهم، ولم يقترح شخص واحد منهم (على الأقل حسب معلوماتى) ما يبدو أنه الحل الواضح لهذه المشكلة صعبة المراس.

ومع هذا، فقد كان الأمر واضحًا - من قراءة أبحاثهم - أن هؤلاء الباحثين كانوا علماء أكفاء، ذوى تفكير ثاقب من الطراز الأول، موهوبين أكثر منى ومن معظم أصدقائى. وأتساءل كيف كان بمقدورهم التغاضى عن أمر بالغ الوضوح، خلال هذه المدة الطويلة؟

وبناء على مستوى تفاؤلك العام، يمكنك أن تنظر إلى هذا الحدث من زاويتين؛ يمكنك أن ترى علماء أكفاء يغفلون - لمدة طويلة - حلولاً واضحة، مما أدى إلى حدوث اليأس الذى حاق بالتقدم الفكرى، ومن ناحية أخرى، يمكنك أن تتبين، أنه على الرغم من المماطلة والتسويف، فإن التقدم العلمى - فى نهاية الأمر - قد توصل إلى إجابة صحيحة.

ولكن مهما يكن استنتاجك الذى اخترته، من هذه المجادلة عن طبيعة السديم لابد من الاعتراف من أنها كانت بالغة الأهمية. إذ إنها كانت تعنى فى المقام الأول، بالحجم النهائى وبنية الكون. كما أنها توضح عن طريق استخدام الأمثلة - أفضل من أى شىء آخر أعرفه - تلك الصلة الوثيقة التى توجد فى العلم، بين مدى كفاءة الأجهزة المتوفرة، والتقدم الذى يمكن تحقيقه، فى الإجابة عن الأسئلة المهمة.

وكما سوف نرى، لم تكن الإبداعية الخلاقة، هى التى توصلت إلى الحل الصحيح لمشكلة السديم، والتى كانت مطروحة للنقاش والتساؤل، ولكن توفر تليسكوب المائة بوصة، الذى شيد فوق جبل (ويلسون) فى كاليفورنيا.

ولا شك أن العلاقة بين الأجهزة والتقدم العلمى انتقادية، وذلك لأنه لإثبات أن سديمًا معينا، يوجد فى مجرة الطريق اللبنى أو لا يوجد، يجب على الباحث أولاً أن يحدد مدى بُعد هذا السديم عنا، وثانيًا إيجاد حجم مجرة الطريق اللبنى. وهكذا، فإن التعرف على طبيعة السدم تتطلب بالضرورة قياس حجم المجرة وقياس المسافات إلى النجوم.

وقياس المسافات وتحديد الأبعاد فى علم الفلك، أحد الموضوعات التى يفضل الباحثون الفلكيون عدم مناقشتها على الملأ مع غير المتخصصين. وثمة كثير من الأسرار لا يتم الإفصاح عنها، بل تظل فى طى الكتمان.

وقياس المسافات الشاسعة بين النجوم، ليست - بالطبع - مثل قياس طول منضدة ما، الذى يتم بوضع مسطرة فوقها، وتحديد نهايتها بعلامة، ثم تحريك المسطرة من هذه العلامة حتى نهاية المنضدة. أما فى علم الفلك فإن "المساطر" التى يمكن استخدامها لقياس أقرب النجوم إلينا، لا يمكن تشغيلها لقياس النجوم الأكثر بعداً عنا، ومن ثم يجب ابتكار تدريج[١] للمسافات، بحيث تستخدم مسطرة أولى لتحديد المدى الأقصى لهذه النجوم، وتصمم مسطرة ثانية تتلاءم مع الأولى فى المناطق التى تتداخل معًا، ثم تستعمل المسطرة الجديدة إلى أبعد مدى لها، وبعدها تستخدم مسطرة أخرى لتقيس مسافات أكثر بعداً، وهلم جرا.

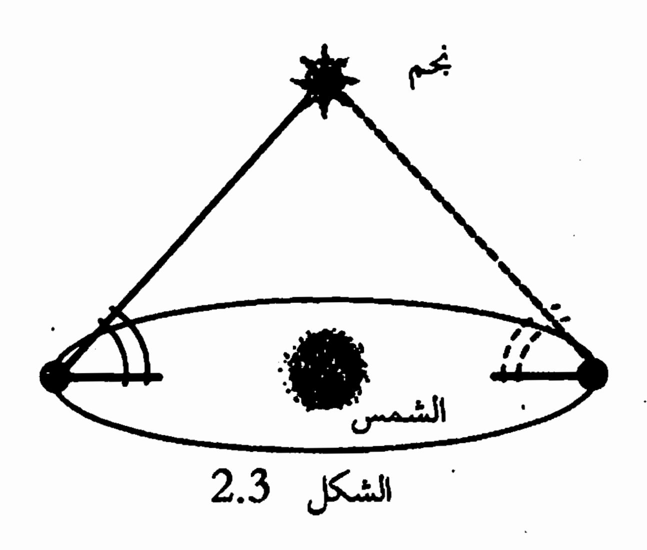
ويبدو أن هذه الطريقة يمكن استخدامها، ولكنها - دون شك - تعطى لقياس المسافات الهائلة فى الفضاء، معنى جديداً يمكن الثقة فى نتائجها.

وفى أواخر القرن التاسع عشر، كانت هناك مسطرتان مستخدمتان فى قياس المسافات إلى النجوم. أبسطهما عبارة عن تقنية "التثليث"[٢] الموضحة فى (الشكل ٣-٢). (صفحة ٤٥).

---

(١) نظام من العلامات المرتبة بفواصل ثابتة تستخدم مقياسا. (المترجم)

(٢) حسب هذه التقنية تقسم منطقة إلى عناصر مثلثة تعتمد على خط معلوم الطول حتى يتمكن من قياس بقية الأضلاع باستخدام علم المثلثات. (المترجم)



الشكل 2.3

ولو أن الزاوية تجاه النجم تقاس عندما تكون الأرض فى الموقع أ، ثم يعاد قياسها بعد ستة أشهر من جديد، فإن معرفة بسيطة بعلم الهندسة وقطر مدار الأرض، يمكننا من حساب المسافة إلى النجم، وهذا مفهوم بسيط، وتعتمد هذه الطريقة، على قدرتنا على قياس الاختلافات الصغيرة فى الزوايا. وإذا كانت المسافة إلى النجم كبيرة جداً، مقارنة بقطر مدار كوكب الأرض، فإن الزوايا التى تقاس بين الموقعين تكون متشابهة للغاية، ومن ثم نفقد القدرة على التمايز بينهما.

ويمكن استخدام "التثليث" لتحديد الأبعاد إلى ما يقرب من نحو مائة وخمسين سنة ضوئية، وهذا جزء ضئيل للغاية من قطر مجرة "الطريق اللبنى". وفى القرن التاسع عشر، وباستخدام تليسكوبات أقل قدرة من تلك المتوفرة فى الوقت الحاضر، كان من الصعوبة استخدام "مسطرة" التثليث حتى لنحو مائة وخمسين سنة ضوئية، ومن ثم، كان من المؤكد أنه لا يمكن استخدامها فى قياس المسافات الشاسعة إلى حافة مجرة الطريق اللبنى.

وهكذا، يمكن استخدام التثليث لقياس مسافات قريبة من كوكب الأرض. أما المسطرة التالية، التى لا أريد الخوض فى تفاصيلها، تتضمن استخداماً أكثر تعقيداً للهندسة، بالإضافة إلى قياسات للحركة الظاهرية للنجوم. وبهذه التقنيات أمكن للفلكيين تطوير مسطرة لقياس مسافات تصل إلى عدة مئات من السنوات الضوئية.

وهذه المسطرة أيضًا، كانت متاحة فى أواخر القرن التاسع عشر، ولكنها لم تسهم إلا قليلاً فى تحديد حجم مجرة الطريق اللبنى، لأنها مقصورة على قياس المسافات الكونية البعيدة.

بيد أن هذا الموقف تغير فى عام ١٩٠٨، عندما توصلت (هنريتيا سوان ليفت) - التى تعمل فى مرصد "هارفارد" - إلى اكتشاف مهم، عن ذلك النوع من النجوم الذى يطلق عليه الفلكيون "المتغيرات القيفاوية". وهذه النجوم يحدث لها نموذجًا منتظمًا من السطوع والخفوت ثم السطوع. وعندما تم رصدها عبر فترات من الزمن، تراوحت بين عدة أسابيع وعدة أشهر. وما لاحظته ليفت، أنه كلما اشتد سطوح النجم، زادت مدة النبض (سطوعًا وخفوتًا). وهذا يعنى أننا بمراقبة أحد هذه النجوم، يمكننا تحديد مدة النبضة واكتشاف مدى سطوع النجم (أو بمعنى آخر، كم كمية الطاقة التى تتدفق إلى الفضاء). وإذا قارنت هذا الرقم بكمية الضوء، التى تتلقاها بالفعل من النجم، لأمكنك أن تحدد مدى بُعْد ذلك النجم عنا.

وهذه "المسطرة" الثالثة، مكنّت الفلكيين أخيرًا، من قياس المسافات الكونية لأكثر من مائة مليون سنة ضوئية. وكما سوف نرى، قادتنا - فى آخر الأمر - إلى حل مشكلة السدم.

وثمة معلومات عرضية مثيرة، عن حالة علم الفلك فى أوائل القرن العشرين، مفادها أنه على الرغم من معرفة أن كوكب الأرض ليس مركز الكون، فإنه كان من المعتقد أن الشمس تقع فى مركز مجرتنا أو قريبة منه.

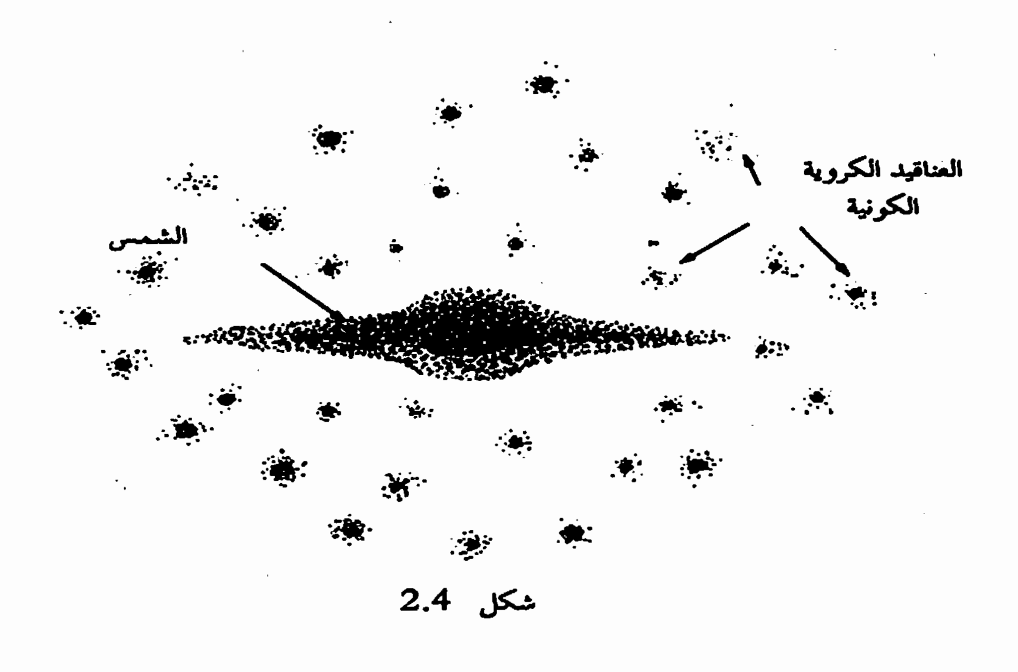
ولم يكن هذا افتراضًا خفيًا مناظرًا لتصور بطليموس عن موقع كوكب الأرض، بل كان مبنيًا على ما بين أيدينا من بيانات فى ذلك الوقت. ولقد وجدت أن هذه الحقيقة البسيطة مثيرة للاهتمام، لأنها تظهر أننا كلما استطعنا أن نسىء تفسير البيانات، حتى تبدو منظومتنا الشمسية أكثر مركزية لكل شىء، خلافًا للواقع، نكون قد انتهزنا الفرصة التى لاحت لنا.

وأتساءل إلى أى مدى وصل هذا الحماس الشائع فى الوقت الحالى، لإيجاد حضارات كونية مثل حضارتنا، وهو أمر يدعمه نفس الاتجاه.

وكان الرجل الذى حدد – فى النهاية – شيئًا مهمًا مثل حجم مجرة الطريق اللبنى، والذى مازلنا نأخذ به حتى الوقت الحاضر، عالم فلك أمريكى نابغ يدعى "هارلو شابلى"(١). ولد فى ولاية "ميسورى"، وبدأ حياته العملية مراسلاً للحوادث والجرائم، لجريدة تصدر فى مدينة صغيرة بولاية "كانساس". وكان عمله يتركز فى تغطية أخبار الحفلات الصاخبة التى يقيمها الرجال السكارى الذين يعملون فى مجال النفط، ورعاة البقر. وأصبح عمل (هارلو شابلى) مملاً، ومن ثم، قرر أن يلتحق بإحدى الكليات الجامعية. ولعل السبب الذى برر به استقراره فى قسم الفلك – جامعة ميسورى، أقل ما يوصف به، أنه غير عادى:

"فتحت الكتالوج الذى يضم المقررات الدراسية.. وكان أول مقرر يدرّس هو (علم الآثار) (a-r-c-h-e-o-l-o-g-y)، ولم أستطع نطق الكلمة! وقلّبت الصفحة ورأيت مقرر (علم الفلك) (a-s-t-r-o-n-o-m-y) واستطعت أن أنطقها بسهولة. وهكذا التحقت بقسم الفلك".

وما اكتشفه (شابلى) يمكن أن يُفهم من الرسم فى (شكل ٢).



شكل 2.4

(١) (١٨٨٥ – ١٩٧٢) فلكى أمريكى، قام بقياس حجم مجرتنا (الطريق اللبنى). (المترجم)

إننا نعرف الآن أن مجرة "الطريق اللبنى" ذات بنية معقدة؛ إذ بالإضافة إلى القرص اللولبى المسطح المألوف، محاطًا بمنظومة من النجوم على شكل عناقيد كروية، يطلق عليها "العناقيد الكروية الكونية". ويحتوى كل عنقود على الملايين من النجوم، وهذه العناقيد (وبداخلها المتغيرات القيفاوية) يمكن رصدها بسهولة بالتليسكوبات التى كانت متوفرة لدى (شابلى) وزملائه. وعندما تم إحصاء هذه العناقيد، وُجد أنه يمكن مشاهدتها فى جانب واحد من السماء. وأقنع (شابلى) زملاءه بأسلوب منطقى، مؤكدًا أن هذه العناقيد - فى الواقع - موزعة بانتظام حول مجرة الطريق اللبنى، وأوضح أن الوسيلة الوحيدة لفهم هذه الملاحظات تتأتى عن طريق: (١) جعل المجرة أكثر اتساعًا مما اعتقد سابقًا و (٢) إبعاد الشمس عن المركز، كما هو موضح فى الشكل.

وباعتناق أفكار (شابلى)، نقترب حثيثًا من النظرة الشاملة الحديثة عن مجرة (الطريق اللبنى). إنها قرص مسطح قطره نحو مائة ألف سنة ضوئية[١]. وتقع منظومتنا الشمسية على أحد الجوانب، فى الضواحى الخافتة الإضاءة، عند ثلث المسافة إلى حافة المجرة. ويمكن القول، إن (شابلى) قام بدور فى الفلك المجرى. يماثل نفس الدور الذى قام به (كوبرنيكس) فى المنظومة الشمسية - إذ إنه أزاح كوكب الأرض عن مركز أى شىء. وهكذا تم إبعاد آخر أثر مرئى وواضح عن مركزية الأرض من المبادئ العلمية السائدة.

وفى نفس الوقت، تعاظم الكون المعروف إلى حجم أضخم مما تصوره بعض الناس - مثل (هيرشل) - الذى كان أول من حاول وضع خريطة لعالم النجوم.

اعتقد نقاد النتائج الذى توصل إليها (شابلى)، أن السدم اللولبية، كانت فى واقع الأمر، مجرات مثل مجرتنا. وعلتهم فى ذلك أنه إذا كانت مجرة (الطريق اللبنى) - فى

---

(١) كانت تقديرات (شابلى) الأساسية أكثر من هذا قليلاً. (المترجم)

حقيقة الأمر - بالحجم المروّع الذى قال به (شابلى)، فثمة أمل ضئيل أن السدم تكون خارج حدودها. وساند هذا الرأى، اكتشاف نجوم براقة جديدة، أطلق عليها "نوفات"[1]، فى بعض المجرات اللولبية. وكانت هذه النجوم متألقة للغاية، وبدت كما لو أنها لا تبعد عنا كثيراً. وفى الوقت الحاضر، نعرف أنها كانت "سوبرنوفات"[2] أى انفجارات مروّعة لنجوم عملاقة. كما أننا ندرك بوضوح وبتأكيد، أنه خلال زمن قصير، يزود السوبرنوفا بالوقود عن طريق التفاعلات النووية، وكان يمكن أن يفوق ضياؤها مجرة بأكملها. وفى العشرينيات من القرن العشرين، عندما لم يكن قد اكتمل الفهم الصحيح للطاقة النووية، لم يلق هذا التفسير اهتماماً كبيراً. ويبدو أن الاتجاه السائد لدى العلماء، ضد النظرية التى مفادها أن الكون عبارة عن جزر، والاعتقاد بأن الكون يتكون من مجرة واحدة، وليس العديد منها.

وكان الموقف مرتبكًا ومشوشًا، وفى شهر أبريل من عام ١٩٢٠، عندما عقد (شابلى) و(هيربر كورتس) - أحد أشد المؤيدين لنظرية أن الكون يتشكل من جزر (المجرات)، مجادلة فى معهد (سميثونيان)، عن مسألة بنية الكون، برعاية الأكاديمية القومية للعلوم. ونظر الفلكيون إلى هذه المجادلة، كمثيل للمجادلات الشهيرة التى دارت بين هكسلى وويلبر نورس، حول مدى صلاحية نظرية التطور وفاعليتها. وقدم (شابلى) دليله الذى استند إليه لتقدير حجم مجرة (الطريق اللبنى)، وجادل (كورتس) فى صالح وجود مجرات أخرى مثل مجرتنا. ولم "يكسب" أحد تلك المجادلة، والسبب الرئيسى فى هذا أن العالمين ناقشا مسائل متباينة. وكان كل منهما محقًا فى مجاله. وكما جادل (شابلى)، فإن الطريق اللبنى له حجم مروّع، بيد أن المسافات إلى المجرات الأخرى شاسعة للغاية.

---

(١) مفردها (نوفا) أو (مستعر). (المترجم)

(٢) مفردها (سوبرنوفا) أى (مستعر أعظم). (المترجم)

وتأكدت طبيعة السدم أخيراً فى عام ١٩٢٣، عندما أصبح الفلكى الأمريكى (إدوين هابل)[1]، أحد أول العلماء الذين قضوا وقتًا طويلاً فى الرصد بالتليسكوب الجديد ذى العدسة التى قطرها مائة بوصة، فوق جبل (ويلسون)، بالقرب من (لوس أنجلوس). وبواسطة هذا التليسكوب، تمكن (هابل) من رصد نجوم فردية، ومن بينها "المتغيرات القيفاوية" فى المجرات القريبة. وباستخدام العلاقة التبادلية، بين التذبذب والتألق، التى طورتها (ليفت)[2] استطاع (هابل) أن يثبت صحة أن المسافات إلى السدم اللولبية، يمكن قياسها بملايين السنوات الضوئية، أى تزيد كثيراً عن تلك التى قدّرها (شابلى) بالنسبة لحجم المجرة.

ومن جديد، اتسع الكون أكثر بفضل تحسن قدرتنا على سبر غوره، ولم يكن هناك جزر كونية أخرى فقط، ولكنها كانت أبعد كثيراً، مما كان يمكن لأى شخص أن يتخيله.

والواقع أن السدم اللولبية هى منظومات نجمية مثل مجرتنا، تقع على مسافات مروّعة منا. أما السدم الأخرى – تلك التى تشتمل على عدد قليل نسبيًا من النجوم، ومادة كثيرة خفيفة ومجدولة، فهى عبارة عن سحب غازية فى داخل مجرتنا (الطريق اللبنى). ولكى نبين الفرق بينهما، فإننا نحتاج إلى تليسكوب قادر على تحديد أن مجموعة من السدم، أكثر بعداً عن الأخرى. وإذا أمكن تحقيق هذا الأمر، تم حل المشكلة.

كلمة عن العناقيد المجرّية

قبل الاستطراد فى هذه المناقشة عن إنجاز (هابل)، يجب ملاحظة حقيقة واحدة عن هذه الجزر الكونية[3]. ومنذ ذلك الوقت، أصبح جليًا أن المجرات لا تتوزع فى الكون

(١) عالم فلك أمريكى (١٨٨٩ – ١٩٥٣) أثبت وجود مجرات أخرى غير مجرتنا (الطريق اللبنى). (المترجم)

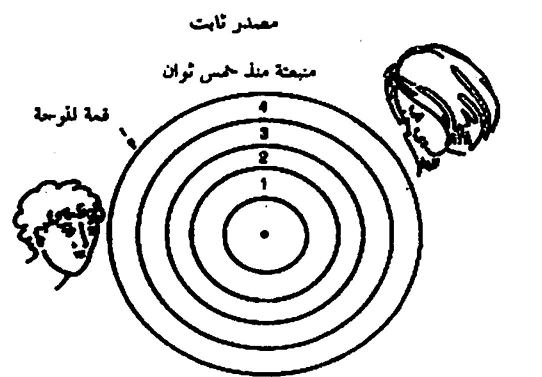
(٢) عالمة فلك أمريكية (١٨٦٨ – ١٩٢١). (المترجم)

(٣) "الجزر الكونية" نظرية صاغها (إدوين هابل) فى عام ١٩٢٤ مفادها أن السدم الثانية عبارة عن مجرات مثل مجرتنا (الطريق اللبنى). (المترجم)

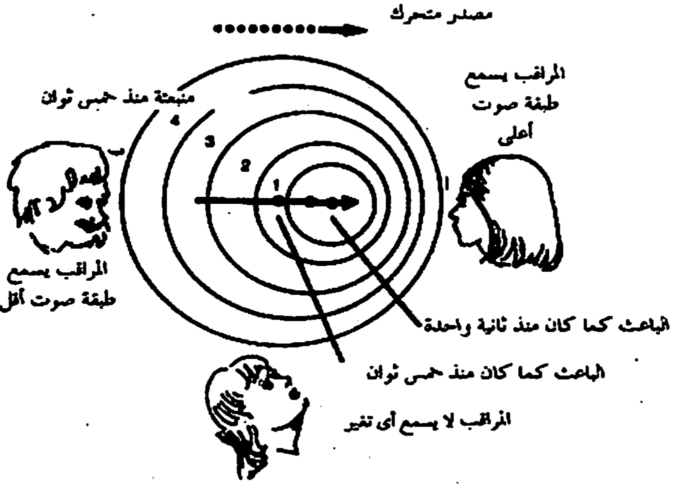
بعشوائية، ولكنها تجنح لأن تتكتل معًا فى مجموعات تركيبية يطلق عليها "عناقيد مجرية"، وأن تلك العناقيد بدورها تتجمع فى شكل "عناقيد مجرية فائقة". وعلى الرغم من أن (هابل) لم يجد طريقًا لمعرفة هذه الحقيقة، فقد تم التوصل إلى أن تفسير هذا التوزيع المتباين للمجرات، يمثل واحدًا من أهم المشاكل، بل يقول البعض بأنه أهمها على الإطلاق، فى علم الكون الحديث.

الكون المتمدد

ولا يقل أهمية عن إثبات (هابل) بوجود مجرات أخرى، ذلك الاكتشاف الذى توصل إليه كجزء من نفس الدراسة التى أجراها، وكان أكثر إثارة وإدهاشًا. إذ عندما تطلع (هابل) إلى المجرات القريبة منا، أدرك أنها تتحرك بعيدًا عنه، وأنه كلما كانت المجرات أبعد، ازدادت سرعة تحركها. وكان هذا الاكتشاف مثيرًا للغاية - ومفعمًا بالتضمينات والتلميحات والاستدلالات، لعلم الكون الحديث - حتى إنه علينا أن نفكر مليًا فى القاعدة التى استند إليها (هابل) كبرهان ليعلن اكتشافه. عندما تقف بجانب طريق سريع، وتسمع صوت دوى نفير سيارة أثناء انطلاقها، سوف تلاحظ أن صوت النفير يتغير، عندما تمر بك السيارة. إذ تكون طبقات موجاتها الصوتية أعلى عندما تقترب منك السيارة، وأكثر انخفاضًا عندما تبتعد عنك. هذا هو مجرد مثال لما يعرف بأثر دوبلر. ويفسر بطريقة بسيطة للغاية فى (الشكل ٥-٢).



يسمع كل المراقبين نفس طول للموجة، والمسافة بين قمم الموجات متساوية



الشكل 2.5

إذ عندما تطلق سيارة ثابتة موجة صوتية، كما فى أعلى الرسم البيانى للشكل ٥-٢، تنبعث سلسلة من الحلقات متحدة المركزة وانضغاطات وخلخلات، فى الهواء الذى يتحرك من السيارة. وعندما يرتطم كل هذا بآذاننا، فإننا نسمع صوتًا، وتعتمد طبقاته على مدى تكاثف الموجات الصوتية. إذا كلما زاد عدد الموجات الصوتية التى ترتطم بآذاننا فى كل ثانية، زاد ارتفاع طبقات الصوت.

أما إذا كانت السيارة تتحرك، كما فى الرسم البيانى الأسفل، إذن، فإنها سوف ترتحل - فى واقع الأمر - لمسافة قصيرة معينة، بين الوقت الذى نطلق فيها موجة صوتية واحدة، والوقت الذى تطلق فيه موجة أخرى. وسوف تتركز كل موجة فى البقعة التى كانت فيها السيارة، عندما أطلقت هذه الموجة تحديدا.

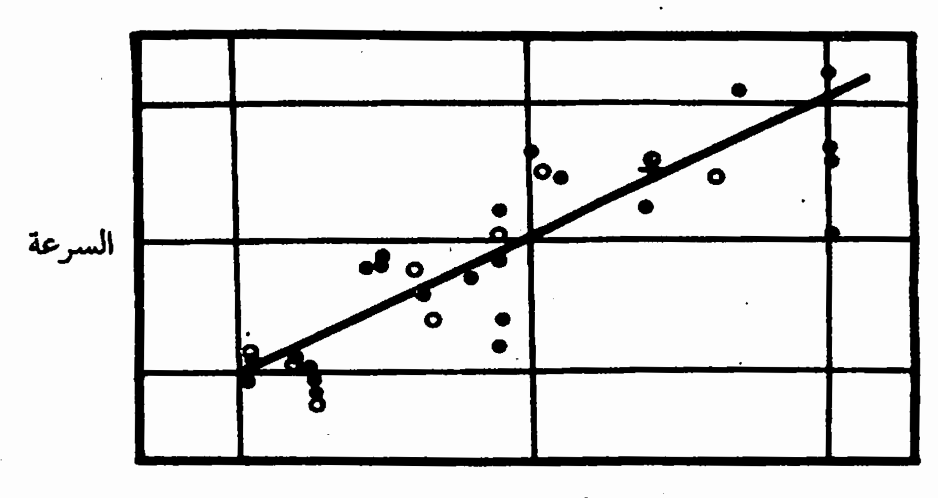
وتكون النتيجة أن النموذج متحد المركز السابق، قد استبدل به النموذج المائل الموضح بالشكل. وإذا كان ثمة شخص يقف عند النقطة أ عندما تكون السيارة مقتربة، فإنه سوف يتبين أن الموجات الصوتية أكثر اندماجًا عن المعتاد. وسوف يسمع هذا المراقب صوتًا ذا طبقة أعلى. ومع هذا، ففى النقطة ب، تكون الموجات الصوتية أقل اندماجًا عن المعتاد، وسوف يسمع المراقب صوتًا ذا طبقة أكثر انخفاضًا.

إن هذا يفسر (تأثير دوبلر)، كما أنه يشرح أيضًا، كيف اكتشف (هابل) تمدد الكون. إن ما حدث لموجة الصوت يمكن أن يحدث لأى نوع من الموجات، من الأمواج المتكسرة على شاطئ المحيط إلى موجات الضوء، إن اندماج الموجات عندما يقترب الشيء الذى يطلقها، يمكن اعتبارها مثل إزاحة للون الشيء نحو الأزرق فى الطيف، وانتشار الموجات الصادرة عن شيء ما يتحرك بعيداً، يمكن اعتباره متجهًا نحو اللون الأحمر[1] "إزاحة نحو الأحمر".

وما فعله (هابل) أنه قارن الضوء الصادر عن ذرات، لعناصر معروفة فى المجرات القريبة، بضوء نفس الذرات الصادر فى المختبرات الأرضية. واتضح له أن الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، تنزاح إلى اللون الأحمر الذى يقع فى نهاية الطيف، واستخلص من ذلك أن المجرات تتحرك بعيداً عن كوكب الأرض.

وتكشّف نموذج آخر، عندما حسب (هابل)، بُعْد المجرات النائية عنا. وبعض بيانات الأصلية مرسومة على هيئة مخطط فى (الشكل ٦-٢). وكان من رأيه أن البيانات تتخذ اتجاهًا معينًا، كلما كانت المجرات أبعد، زادت إزاحتها نحو الأحمر.

(١) إزاحة الخطوط الطيفية للمجرات البعيدة نحو الطرف الأحمر للطيف. (المترجم)



الشكل 2.6

ويجب أن أعترف أن هذا الاتجاه ليس واضحًا ومؤثرًا فى الشكل (على الرغم من أنه بالغ الوضوح فى البيانات الحديثة). ويجب عزو اكتشاف (هابل) - جزئيًا - إلى التقنية التجريبية الرائعة، وكذلك إلى التخمين الملهم، الذى تضمن التساؤل عما يمكن أن يتحقق عندما تطبق مقاييس أفضل فى المستقبل.

ومع ذلك، فإن النموذج الذى توصل إليه (هابل)، والذى سوف ينبثق فى النهاية من هذه البيانات، وكان اكتشاف الإزاحة نحو الأحمر للمجرات، واحدًا من أهم النتائج وأعمقها، التى تكشفت عن الملاحظات الفلكية. وهى تحمل فى طياتها بذور الصورة الحديثة التى تتوفر لنا عن الكون المتطور، تلك الصورة التى نطلق عليها "الانفجار الأعظم"[1] Big Bong.

---

(١) نظرية تقول بأن الكون نشأ بانفجار مروع قبل حوالى ١٣,٧ بليون سنة. (المترجم)

الفصل الثالث

الانفجار الأعظم

"لماذا يولد الناس؟ ولماذا يموتون؟ ولماذا يقضون أغلب أوقاتهم، ما بين ارتداء الساعات الرقمية؟".

(دوج آدامس)

"دليل المسافر المتطفل إلى المجرة"

ليس ثمة شك، فى أنك لو أردت معرفة إجابات عن الأسئلة الأساسية التى يطرحها العلم، عليك أن ترجع إلى علم الكون. وعبر التاريخ، أخذ الفلكيون على عاتقهم إجابة أسئلة مثل "كيف بدأ الكون؟" أو "كيف شيّد؟" أو "ما مصيره؟". وإذا طرحت هذه الأسئلة على فلكيي العصر الحديث، سوف تصاغ الإجابات فى لغة النموذج المقبول فى زمننا هذا، وهو ما يطلق عليه "الانفجار الأعظم". وهذا النموذج نمو منطقى نتيجة تعاظم الاكتشافات عن المجرات، التى توصل إليها (هابل).

وإذا كانت المجرات النائية تبتعد عنا بالفعل، وأن المجرات الأكثر بعداً، تبتعد أسرع من مثيلاتها القريبة نسبيًا، هنا تنبثق صورة للكون لافتة للنظر. تخيل أن

المجرات مثل حبات زبيب[1] مبعثر فوق قطعة من عجين الخبز أثناء خبزها. وبينما تتمدد قطعة العجين، فإن حبات الزبيب سوف تتباعد عن بعضها البعض أكثر فأكثر. وإذا تخيلت أنك تقف فوق واحدة من حبات هذا الزبيب، كيف تبدو لك الأشياء من حولك؟ إنك بالطبع لن تشعر بأى حركة، مثلما لا تحس بآثار حركة كوكب الأرض فى مدارها حول الشمس، إلا أنك سوف تلاحظ أن أقرب جار لك، يتحرك بعيداً عنك. وتنسب هذه الحركة إلى حقيقة أن عجينة الخبز، بينك وبين أقرب جار لك تتمدد، ومن ثم تدفع بكما بعيداً عن بعضكما.

وإذا نظرت بعد ذلك إلى حبة الزبيب التى تضاعف بعدها عنك وعن جارك الأقرب، الذى سوف تراه يبتعد أيضًا. فإنها سوف تتحرك بضعف سرعة جارك، لأنه سوف يكون ضعف كمية عجين الخبز، بينك وبين حبات الزبيب، مثلما كان بينك وبين جارك. وكلما نظرت أبعد، سوف يفصلك المزيد من عجين الخبز عن الزبيب الذى تراه، وسوف تزداد السرعة التى يتحرك بها بعيداً عنك.

وفى الواقع، أن هذا ما شاهده (هابل) عندما نظر إلى بقية الكون من مرصد (ويلسون) كان كونا سيطر عليه تمدد شامل للفضاء ذاته، وكانت المجرات فيه تتحرك مثل حبات الزبيب فى عجين الخبز. لقد كان تمدداً، يوحى لأى مراقب فى أى مجرة، بأنه يقف ساكنًا، وأنه يشاهد كل الأشخاص يتحركون بعيداً عنه. إنه كما قال (نيكولاس أوف كوسا) – بعبارات اقتبستها فى الفصل الأول – "الكون مركزه فى كل مكان ومحيط دائرته ليس فى أى مكان" لقد أصبحت فكرة تمدد الكون، شيئًا مألوفًا للغاية فى الوقت الحاضر، إلى الحد أنه من السهولة أن ننسى، كم كانت هذه الفكرة ثورية فى ذلك الوقت.

---

(١) حبات العنب المجففة. (المترجم)

ولتوضيح هذه النقطة، دعنا نناقش كل تفاصيل الأشياء التى تضمنها رأى (هابل) عن الكون، تلك الأشياء المهمة من الناحية الفلسفية.

بداية الكون

لو تصورت أن تمدد الكون، شريط سينمائى، فيمكنك أن تتخيل بسهولة "إدارة الفيلم بطريقة معكوسة". وإذا فعلت ذلك، سوف تجد أن الكون يصغر ويصغر، وفى نهاية الأمر ستأتى اللحظة التى تصبح فيه كل كتلته، متراصة فى نقطة كثافتها لا نهائية. ومن هذه النقطة ، فى ذلك الزمن الموغل فى القدم إلى الوقت الحاضر، كان الكون يتمدد. وقبل هذا الزمن لم يكن الكون موجوداً، أو على الأقل لم يكن موجوداً بشكله الحالى.

وتجبرنا الحقيقة البسيطة بأن الكون يتمدد، لنستخلص أن الكون له بداية فى الزمن. وسوف نرى أن هناك بعض الجدال عن العمر الفعلى للكون، ولكن فى عصرنا الحالى نلاحظ بسهولة أن معظم الفلكيين، يقولون بأن عمر الكون يتراوح تقريباً ما بين عشرة إلى عشرين بليون سنة[1]. وللقياس، يمكن أن يقارن هذا بعمر المنظومة الشمسية (حوالى أربعة ونصف بليون سنة)، ووقت انقراض الديناصورات (خمسة وستين مليون سنة) وعمر الجنس البشرى (نحو ثلاثة ملايين سنة).

إن الحدث الذى ميز بداية الكون، أطلق عليه "الانفجار الأعظم"، ولقد دخل هذا المصطلح مفردات اللغة والأحاديث اليومية الشائعة فى ثقافتنا. وفقط يشير ذلك الاسم - أصلاً - إلى الحدث الوحيد الذى يمثل بداية الكون، واليوم يستخدمه الفلكيون، ليعنى الصورة الكاملة للكون، كما وصفناه فيما سبق، كون انبثق من حالة استهلالية كثافتها مروعة، وأخذ يتمدد منذ ذلك الوقت. وسوف أستخدم مصطلح "الانفجار الأعظم" بهذا المعنى. ويعزو إلى العملية الكونية برمتها: الحدث الاستهلالى بالإضافة إلى التمدد، وبالنسبة للحدث الاستهلالى ذاته، دعنا نطلق عليه "لحظة الخلق".

---

(١) آخر ما توصل إليه علماء الفلك بأن عمر الكون نحو ١٣,٧ بليون سنة. (المترجم)

وأحد الاعتقادات الخاطئة الشائعة عن الانفجار الأعظم، والذى يجب التخلص منه فى التو، الاعتقاد أن التمدد الكونى يشابه انفجار قذيفة مدفعية. فالمجرات ليست كرات "شربنيل"[1] تتسارع بعيدًا، من انفجار مركزى. إن التشبيه بالزبيب فى عجينة الخبز، هى طريقة مقبولة لنفكر فى العملية الكونية كلها، إن ما يتمدد هو الفضاء ذاته، وليس مجرد سحابة من المجرات فى داخل الفضاء.

أصبح الاعتقاد البسيط بأن الكون له بداية فى الزمن، واضحًا للغاية للفيزيائيين الفلكيين، حتى إن عددًا قليلاً منا يمكن أن يشكك فيه. ومع هذا، فإنه اعتقاد، له تضمينات عميقة، إن معظم الحضارات تعتنق واحدًا أو اثنين من المفاهيم المتعلقة بالزمن، والتى يمكن أن نميزها - بصفة عامة - بخطىّ[2] ودائرى أو بغربى وشرقى. فالزمن الخطىّ له بداية واستمرارية ونهاية، أما الزمن الدائرى، وكما يوحى به اسمه، يظل يدور ويدور إلى الأبد. وفى الكون الذى يعمل بالزمن الدائرى، لا تثار أبدًا مسألة الخلق، وفيه يكون الكون قائمًا فى الماضى، وسيظل كذلك فى المستقبل.

وعندما نفكر فى الزمن الخطى، فإنك فى التو سوف تواجه بسؤال محير ليس فقط عن الخلق، ولكن عن الخالق جل شأنه. وعلى الرغم من أنه ليس هناك سبب منطقى لهذه الفرضية، فإن العديد من الناس يعتقدون بأنه إذا وجد شىء ما، فلابد أن وجوده كان استجابة لأفعال بعض الكائنات العاقلة. وبسبب ذلك الاعتقاد، فإن الفلكيين - على الرغم من كراهيتهم للانخراط فى مناقشات لاهوتية - وجدوا أنفسهم متورطين فى إحدى هذه المناقشات، عندما افترضوا حدوث كون الانفجار الأعظم. فقد وضعهم ذلك الفرض مباشرة، فى خضم المجادلة الموغلة فى القدم، عن وجود الله!

(١) قذيفة مدفعية تحتوى على كرات معدنية صغيرة مصممة لتنفجر فى الهواء. (المترجم)

(٢) مؤلف من خطوط. (المترجم)

الكون ليس ساكناً

منذ اكتشاف (هابل) للإزاحة نحو الأحمر، كان يفترض عادة أن الكون ساكن، وأن النجوم أبدية ولا تتغير، وأن مشكلة سبر غور الكون، مشابهة لرسم خريطة لمنطقة مكتشفة حديثًا. بيد أن المنطقة كانت معقدة ومتشابكة، ومن ثم، كانت المهمة صعبة، ولكن - على الأقل - يمكن للشخص أن يتأكد بأن الأرض لن تتحرك في كل اتجاه، بينما يتم رسم الخريطة، وقد غيّر اكتشاف (هابل) كل هذا. فبدلاً من الاعتقاد بأن الكون ساكن، أصبحنا نتعامل مع كون يتطور باستمرار مع مرور الوقت. ويجب أن نفكر في الكون كسلسلة من العمليات والتغيرات.

وبالتالي، فإن كل الملاحظات التي تمت عبر الزمن المدون، تعطينا أقل من لقطة للكون، خلال جزء ضئيل من تاريخه الطويل. ولو أن عمر الكون كله الموغل في القدم، قد ضغط إلى سنة واحدة، فسوف يشغل التاريخ المدون - تقريبًا - اللحظة الأخيرة قبل منتصف ليلة رأس السنة. ولو أن الكون كان ساكنًا، إذن، فإن لقطة واحدة سوف تكون كافية لتخبرنا كيف كان يبدو الكون، وكيف تطور منذ بداية الزمن. ولكن ما دام الكون يتطور، فإن اللقطة سوف تخبرنا عما هو عليه في الوقت الحاضر، وعلينا أن نستنتج كيف كان الكون في الماضي.

وتحدث وجهة النظر هذه، فرقا كبيرا فيما ارتضيناه كتفسيرات، للكون الذي يتراءى أمام أعيننا حاليًا. وسوف نرى فيما بعد، أن ملمحًا واحدًا للكون يظهر أنه مليء بالفراغات المروعة، مناطق لا توجد بها مجرات على الإطلاق. ولو اعتنق المرء الرأي بأن الكون ساكن ولا يتغير، إذن، فعليه أن يجد آلية ما، يمكن بواسطتها تخليق هذه الفقاعات والحفاظ عليها إلى الأبد، وهي مهمة - بكل المقاييس - مستحيلة. ومن ناحية أخرى، إذا اعتقد شخص ما أن الكون يتطور، سوف تكون المهمة أكثر سهولة إلى حد كبير. كل ما على المرء أن يفعله هو أن يفكر في شيء ما يمكن أن ينتج فقاعة بحيث تستمر في الوجود لزمن طويل، يكفي لكي يمكننا مشاهدتها. ويمكن للعديد من

العمليات الطبيعية الفيزيائية أن تنتج فقاعة مؤقتة، كما سوف نرى فى الفصل الخامس.

لن يبقى الكون على وضعه الحالى إلى الأبد

كما أن للكون بداية، فسوف تكون له نهاية. وسنتعرض فيما بعد لتفاصيل الشكل الذى ربما تتخذه تلك النهاية، أما فى الوقت الحاضر، فإننا نلاحظ أن كونًا متطوراً يجب أن تكون مراحل تطوره فى اتجاه نهاية محتومة.

وفى القرن التاسع عشر، لاقت فكرة "الموت الساخن" للكون، قبولاً لدى العلماء، ومفادها أن الكون أصبح ضعيفًا وأصابه الكلال، وفقًا للقانون الثانى من الديناميكا الحرارية[1]، وفى النهاية سوف يتحول كل الخلق إلى كيان ضعيف مفتقر للمعالم، ككتلة خفيفة لا شكل لها من المادة. أما المستقبل المحتمل لعلم كون الانفجار الأعظم، فسوف تكون درامية إلى حد بعيد، أكثر من الموت الحرارى، ولا نستطيع أن نجزم القول. أى من النهايات المحتملة، هى التى سوف تحدث، وذلك بسبب قصور تقنيات الرصد لدينا، أو لعلها مجرد حالة جهل عابرة. ولكن حتى الوقت الحاضر، يمكننا إدراك أن هناك رؤيتين مستقبليتين محتملتين، نستطيع الخوض فى تفاصيل كل منهما.

عندما كان الكون أكثر شباباً، كان أشد كثافة وحرارة مما هو عليه فى الوقت الحاضر

عندما كان الكون أكثر شبابًا، كانت نفس كمية مادته مضغوطة فى حجم أصغر كثيراً مما هو عليه فى الوقت الحاضر. وبناء على هذا، كانت كثافته أشد مما هى عليه الآن.

---

(١) علم يبحث العلاقة بين خواص المواد وتفاعلاتها التى تتأثر بالحرارة، وتحول الطاقة من وجه لآخر. (المترجم)

ومعروف أنه كلما ضغطت المواد إلى كثافة عالية، تصبح أشد حرارة، والتفسير الشائع لهذه الحقيقة، من ممارساتنا اليومية، هو استخدام مضخة يدوية لنفخ إطار، وبعد برهة، تصبح أنبوبة المضخة ساخنة، وقد تولدت هذه السخونة من الانضغاط المستمر للهواء. وبالمثل، عندما نعود بالزمن إلى الوراء، سنجد المادة أكثر كثافة والحرارة - تبعًا لذلك أشد - وفى الحقيقة، إذا كان علىّ اختيار شعار وحيد، وأطلب من الناس أن يتذكروه عن الانفجار الأعظم، فسوف يكون: "فيما يتعلق بالكون، فإنه فى مرحلة شبابه، كان أشد حرارة وكثافة".

وتشمل هذه الحقيقة استدلالات وتلميحات وتضمينات مروعة، وفى الواقع يمكن القول إنها المسئولة عن ازدهار علم الكون فى الوقت الحاضر. والسبب فى ذلك، أننا عندما نقول بأن المادة ساخنة، فإننا نعنى بهذا، أن الذرات المكونة لها تتحرك بسرعة. وكلما زادت سرعة تحركها، زادت الاصطدامات العنيفة التى تحدث من وقت لآخر.

ويشابه ذلك الموقف حوادث السيارات. ففى المادة الباردة، تتحرك الذرات ببطء، وتكون الاصطدامات مثل سيارتين تتصادمان عندما تتحركان بسرعة بطيئة فى موقف مخصص للسيارات. وليس من المحتمل أن تتحطم السيارتان أو الذرات بشدة. ومن جهة أخرى، إذا كانت المادة ساخنة، سوف تشبه الاصطدامات ارتطام سيارتين وجهًا لوجه، عندما تسيران بسرعة قصوى. وفى هذه الحالة، ثمة احتمال كبير، أن تتمزق السيارتان والذرات إربًا إربًا، تاركة مكان الاصطدام ركامًا مبعثرًا، ورفارف ومصدات وأجزاء أخرى.

وهكذا، عندما كان الكون أشد حرارة وأكثر شبابًا، كانت الاصطدامات بين الذرات عنيفة، ولابد أنه كان هناك وقت، كانت فيه الحرارة لافحة إلى الحد أنه كان من المستحيل على أى ذرات أن تعمر بعد هذه الاصطدامات. إذ لابد أن يتفكك كل شىء إلى مكوناته الأساسية، ونعرف من هذا، أنه كان هناك وقت، لم توجد فيه ذرات، ووقت آخر، انبثقت فيه إلى الوجود. وقبل خلق الذرات، وجدت المادة على شكل إلكترونات

تتجول فى كل مكان، باحثة عن نواة ترتبط بها، وكانت النواة بدورها ترتحل فى جميع الاتجاهات، للبحث عن إلكترونات، وهذه حالة من المادة يطلق عليها الفيزيائيون "بلازما"[(١)]. وإذا حدث وارتبط إلكترون بنواة لكى يشكل ذرة، فإن كليهما سوف يتمزق فى الاصطدام التالى.

وتلك السلسلة من الأحداث، التى تتحول فيها المادة - باستمرار - من حالة إلى أخرى، كلما انخفضت درجة حرارة الكون، من أفضل أن أطلق عليه "التجمد"، لأن ذلك يشبه تحول الماء، من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، إذا ما انخفضت درجة الحرارة إلى أقل من صفر مئوى. والواقع أن التحول من مركبات من الإلكترونات والنوى، إلى ذرات، ربما حدث فى درجة حرارة أعلى من هذا، بيد أن للعمليتين خصائص عدة مشتركة.

عندما كان الكون أكثر شباباً. كانت الأمور أبسط

إن الذرة بنيان بالغ التعقيد؛ إذ إن لها نواة مدمجة، ذات شحنة موجبة وحشد من الإلكترونات ذات شحنة سالبة، تتحرك فى مدارات حولها، ومن ناحية أخرى، فإن الذرة منظومة بسيطة نسبيًا. إذ - على الرغم من كل ذلك - لتكوين ذرة ما، عليك بوضع كل الأجزاء المكونة لها معًا، بالأسلوب الصحيح تمامًا. ولعمل مزيج ما، يمكنك وضعها كيفما اتفق. وذلك هو الفرق بين حزم الأمتعة بعناية فى حقيبة سفر، ومجرد إلقاء شىء - دون عناية - داخلها.

وحكاية ما حدث للذرات، يعد نموذجًا للتاريخ المبكر للكون؛ إذ عندما أخذت الحرارة فى الانخفاض، كنتيجة لتمدد الكون - وفقًا لنظرية (هابل) - تشكلت بُنى أكثر وأكثر تعقيداً. وكانت الذرات - وهى أكبر وأكثر نشاطًا من كل البنى التى تلقى

---

(١) غاز متأين تكون فيه الإلكترونات حرة وغير مرتبطة بالذرة. (المترجم)

اهتمامنا – هى آخر ما تشكلت. وإذا رجعنا بالزمن إلى الوراء، لوجدنا أن البنية التالية التى مرت بمرحلة التجمد هى النوى نفسها. إن النوى هى – ببساطة – تكدس من البروتونات والنيوترونات. وإذا حدث بين هذه الجسيمات اصطدام عنيف إلى حد ما، فإن البروتونات والنيوترونات، يمكن أن تنفصم عراها وتتباعد عن بعضها. لابد إذن أنه كان ثمة وقت، عندما لم تكن نوى الذرات موجودة، ووقت آخر انبثقت فيه إلى الوجود.

وبنفس الطريقة، فإن البروتونات والنيوترونات والجسيمات الأساسية الأخرى، التى تكوّن النوى، مكوّنة بدورها من جسيمات يطلق عليها "كواركات"[1] وهى "أولية" أكثر، ويعتقد بأنها اللبنات الأولى للمادة، حتى الآن.

عندما كانت حرارة الكون مروّعة، لم تستطع هذه الكواركات أن تبقى "محبوسة" فى داخل الجسيمات الأساسية، بل انطلقت كجسيمات حرة. وبمعنى آخر، فى بواكير الزمن، لم يكن هناك أى جسيمات أساسية، التى تتخذ لها – فى الوقت الحاضر – موطنًا داخل النواة. وكان ثمة وقت، لم تكن موجودة فيه، ووقت آخر انبثقت فيه إلى الوجود.

وعندما كانت درجة حرارة الكون، شديدة بقدر كاف، عندئذ كانت المادة خليطا من الكواركات وجسيمات كالإلكترونات، جسيمات يطلق عليها الفيزيائيون "لبتونات" (أى الجسيمات التى تتفاعل بضعف).

ووفقًا لأفكارنا الحالية، لقد وصلنا إلى نهاية الطريق: إن المادة لا يمكن تفتيتها أكثر، والبحث عن جسيمات دون ذرية داخلها. وأن كل شىء حولنا مكون من توافقيات متباينة من الكواركات واللبتونات. وبينما كان الكون يتمدد، تجمدت الكواركات داخل الجسيمات الأساسية، ثم تجمدت الجسيمات داخل النوى، وفى النهاية تجمدت النوى والإلكترونات لتكوّن الذرات. ويجب أن تعترف أنها صورة بارعة ودقيقة لتطور أشكال المادة.

---

(١) تروى قصة الجسيمات الأساسية والكواركات. فى كتابى "من الذرات إلى الكواركات" "From Atoms to Quarks". (المؤلف)

بيد أن تبسيط الكون إلى أجزائه الأساسية، لا يتوقف على المادة، إذ ما إن تفككت المادة إلى عناصرها الجوهرية، حتى وجد مصدر آخر للتعقيد فى الكون، ألا وهى القوى الرئيسية التى تتحكم فى الطريقة التى تتفاعل بها الجسيمات مع بعضها. وفى كوننا الحالى الذى يتميز بأنه - إلى حد ما - قارس البرودة، ثمة أربع من هذه القوى؛ إذ إن هناك (بترتيب تنازلى لمدى قوتها) القوة الشديدة، التى تمسك بمكونات النواة معًا، والقوة المألوفة للكهرباء والمغناطيسية (الكهرومغناطيسية) والقوة الضعيفة التى تتحكم فى بعض أنواع التحلل الإشعاعى، والجاذبية. وعلى الرغم من أن هذه القوى، تبدو متباينة إلى حد كبير، ولكن وفقًا لنظرياتنا عن البنية الرئيسية للكون، فإن تلك القوى ليست إلا جوانب مختلفة لنفس القوى. وعندما تزداد شدة طاقة الاصطدامات، فإنه من المفترض أن تختفى الصفات الفارقة التى بين القوى الأساسية.

وحالما يختفى التمايز بين قوتين، نقول بأن هاتين القوتين قد توحدتا، والنظريات التى تشرح عملية الاندماج هذه يطلق عليها نظريات "المجال الموحد". وتشتمل هذه النظريات على استدلالات وتلميحات وتضمينات، عن تطور الكون. وعندما نرجع فى الزمن، فيما وراء النقطة التى تفككت فيها المادة إلى مكوناتها الجوهرية، نجد أن أول قوتين توحدتا، هما القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة. وقبل هذا التوحد، كانت هناك ثلاث قوى أساسية فقط: القوة الشديدة، والقوة الموحدة الجديدة "الكهروضعيفة"، وقوة الجاذبية.

وبالرجوع فى الزمن إلى الوراء، وبعد هذا التوحيد، كان الحدث ذو الأهمية، توحيد القوة الشديدة والقوة الكهروضعيفة. وقبل هذا التوحيد كانت هناك فقط قوتان أساسيتان: القوة الشديدة - الكهروضعيفة والجاذبية. وبعد هذا، أصبح هناك ثلاث قوى. وباستمرار هذا التوحيد بين القوى، أصبحت الكواركات واللبتونات، قابلة للتبادل فيما بينها، وفى الواقع، صارت نوعًا واحدًا من الجسيمات.

وأخيرًا، مع الارتفاع المروع لدرجات الحرارة، لحد لا يمكن تخيله، تقترح النظريات الكونية والفيزيائية، أن آخر قوتين قد اتحدتا. (والنظريات التى تصف هذه العملية، تسمى نظريات "التماثل الفائق"، وسوف نناقشها فى الفصل الحادى عشر).

وفى هذه المرحلة من دراستنا للكون، لا نحتاج إلى ملاحظة أن العلماء يخبروننا بأنه فى أول جزء من الثانية من وجود الكون، كان بسيطًا ورائعًا وأنيقًا، كما يمكن أن يكون. وكان يتكون من محيط من نوع واحد من الجسيمات، وأخذت هذه الجسيمات تتفاعل مع بعضها عبر نوع واحد من القوة الكونية.

وبينما أشعر بمتعة أن أخبر جماهيرى الحبيبة التى تتابعنى إلى هذا الحد البعيد من تاريخ الكون، أن كل شىء يتفاقم منذ ذلك الوقت[١].

الجدول الزمنى

تاريخ الكون منذ لحظة الخليقة، كان عبارة عن تمدد وتبريد "وتجمدات"، وفيها لا يحدث للمادة ذاتها أو للتفاعلات الأساسية أى تغير فى الشكل. وبدون الخوض فى التفاصيل، يمكن تأريخ تطور الكون على أساس زمنى، بمساعدة جدول زمنى بسيط. دعنا ننسب للحدث الأولى نفسه، الكمية التى نطلق عليها الوقت صفر. ثم الأوقات التالية تميز التجمدات التى تم وصفها فيما سبق:

10^{-43} ثانية[٢].

فى هذا الوقت، انفصلت قوة الجاذبية، عن القوة الشديدة المتحدة بالقوة الكهروضعيفة. وبعد "شهر العسل" القصير من أقصى درجات البساطة، صار الكون

---

(١) يمكنك أن تجد مناقشة كاملة للخطوات التى أوجزت هنا، وذلك فى كتابى (لحظة الخليقة) The Moment of Creation. (المؤلف)

(٢) سوف أستخدم ما يطلق عليه "التدوين العلمى" الذى يعنى باستخدام العلامات والرموز فى التطبيقات العلمية، وذلك لتوفير المساحة. وليس من الصعوبة فهم التدوين العلمى. إن رقم ١٠ له أس مكون من رقم سالب، يجب أن يفسر بأنه إشارة "لتحريك الفاصلة العشرية بعدد هذا الرقم إلى اليسار". وهكذا فإن الرقم إلى أعلى عبارة عن فاصلة عشرية، واثنين وأربعين صفرا ثم واحدا. أما الأس الإيجابى فيعنى "حرك الفاصلة العشرية بعدد هذا الرقم إلى اليمين". (المؤلف)

- إلى حد ما - أكثر تعقيداً، إذ إن التفاعلات بين الجسيمات، أصبح يتحكم فيها الآن، نوعين من القوى. كانت الحرارة بالغة الشدة والاصطدامات عنيفة للغاية، وهذا يفوق إلى حد كبير، أى شىء فى كوننا الحالى، حتى فى مراكز النجوم والكوازرات. ولدى بعض الفيزيائيين النظريين، أفكار عما كانت عليه الأمور فى ذلك الوقت، ولكن ليس ثمة اختبارات تجريبية متاحة، تؤكد لنا صحة أفكارهم.

10^{-35} ثانية

انفصلت القوتان: الشديدة والكهروضعيفة، تاركة الكون بثلاث تفاعلات أساسية. وتوقفت قابلية الكواركات واللبتونات للتبادل فيما بينهما، واتخذا - تقريباً - صورتهما الحالية. وبالإضافة إلى ذلك، ففى خضم هذا التجمد تشكل عدد من الأشياء الغريبة، استوجب خلقها طاقة مروعة أشد كثيراً، مما هو متوفر فى الوقت الحاضر، سواء فى الطبيعة أو المختبر. وهذه الأشياء، مثل الأوتار الكونية، سوف يتم سبر غورها فى الفصل الثانى عشر، وتتميز بأنها تكون مستقرة بمجرد تشكلها. ومن ثم، فربما استطاعت أن تبقى بعد زوال غيرها، منذ هذا الزمن المبكر الموغل فى القدم، ولعلها تؤدى دوراً رئيسياً فى بنية الكون.

وعلى المستوى التجريبى، فإن العلماء النظريين الذين وصفوا هذا التحول، لم يقدموا دليلاً قاطعاً عليه. بل صاغوا نظرية أطلقوا عليها (النظريات الكبرى للتوحد) GUT، وتنبأوا فيها بأن البروتون - الذى أعتقد حتى ذلك الوقت بأنه مستقر تماماً - سوف يضمحل بجدول زمن يزيد كثيراً عن عمر الكون. وقد باءت بالفشل كل المحاولات لرؤية هذا الاضمحلال بتجارب بالغة الحساسية والدقة، ومن ثم، فإن العمر المقدر يزيد كثيراً جداً، عما تم التنبؤ به فى أبسط الرؤى للنظريات.

10^{-10} ثانية

فى هذا الزمن حدث آخر تجميد للقوى؛ إذ انفصلت القوة الكهرمغناطيسية عن القوة الضعيفة، ويقى الكون بالمجموعة الكاملة من الأربعة تفاعلات. ويمثل ذلك أيضًا الزمن الأبكر الذى يمكن فيه أن نستحدث من جديد - فى مختبراتنا - تلك الظروف التى كانت سائدة فى الكون. وفى المعجلات العملاقة للجسيمات، يمكن إنتاج هذه الظروف خلال تلك الحقبة الزمنية، ولكن فى قياسات ضئيلة للغاية، لا تزيد على حجم البروتون. وليس هذا بالإنجاز العظيم، بيد أنه يعد كافيًا، لإمدادنا بطريقة موثوق بها للغاية، لتصور الظروف التى كانت سائدة فى ذلك الزمن الموغل فى القدم.

١٠ مايكرو ثانية[١]

اندماج الكواركات لتشكيل الجسيمات الأساسية

ثلاث دقائق

التحام البروتونات والنيوترونات معًا، لتكوين النوى. ولنكن أكثر دقة، فقط النوى الخفيفة - حتى الهيليوم والليثيوم - تكونت خلال هذه المراحل المبكرة من الكون. أما كل العناصر الأثقل، فقد تشكلت فيما بعد، فى النجوم.

من ١٠٠,٠٠٠ إلى ١,٠٠٠,٠٠٠ عام

اندمجت الإلكترونات والنوى معًا ، لتكون الذرات. وما أن تكونت الذرات حتى أصبح الكون يشبه - إلى حد ما - شكله الحالى. واستمر تمدد الكون دون أى تغييرات جذرية.

---

(١) جزء من مليون من الثانية. (المترجم)

دليل على حدوث الانفجار الأعظم

صورة "الانفجار الأعظم"، كما يدرك كل شخص، رؤية شاملة وبارعة لتطور الكون، تأخذنا من لحظة الخليقة إلى الوقت الحاضر، عبر سلسلة من الخطوات البسيطة نسبيًا. ولكن هل هذا ما حدث بالفعل، أم هي حكاية تعطي انطباعًا خادعًا للحقيقة، وكأنها من أحداث قصص (روديارد كيبلنج) التي أطلق عليها "قصص مطابقة للحقيقة"؟

إن الوسيلة الوحيدة للإجابة عن هذا السؤال، هو اللجوء إلى الدليل الذي يعتمد على الأرصاد الفلكية والقياسية، التي تساند النظرية. وبغض النظر عن "الإزاحة نحو الأحمر" ذاتها، ثمة دليلان رئيسيان متاحان: التخليق النووي بسبب الانفجار الأعظم والموجات الدقيقة الخلفية الكونية. ثمة عدد آخر من الدلائل، بيد أنها من الصعوبة بحيث لا يتسع المجال لشرحها، هنا، وإجمالاً، فإن هذه الدلائل أقل تأثيرًا من الدليلين اللذين سوف أناقشهما فيما بعد.

تخليق النوى (أي وضع النوى معًا) يعزو إلى سلسلة العمليات والتغيرات التي حدثت أثناء نقطة التحول التي استمرت ثلاث دقائق (مَعْلَم الثلاث دقائق). فخلال فترة وجيزة، تصادمت البروتونات والنيوترونات ببعضها ثم التصقت معًا، مكونة نواة خفيفة.

وقبل مرور ثلاث دقائق، كانت درجات الحرارة مروعة، بحيث لم تمكن النوى من الالتحام معًا، وبعد ذلك استمر تمدد الكون إلى النقطة التي أصبحت فيها كثافة الجسيمات منخفضة للغاية، إلى الحد أنها لا تسمح بحدوث عدد كبير من الاصطدامات. ومن ثم، فهناك رؤية ضيقة للغاية، حول حدود الثلاث دقائق الأولى من عمر الكون، حيث تم فيها عدد كاف من الاصطدامات التي كونت أعدادًا كبيرة من النوى، وكانت درجة الحرارة منخفضة لتسمح بالنوى التي تشكلت حديثًا، بالبقاء "على قيد الحياة".

وتخبرنا نظرية الانفجار الأعظم، عن مدى كثافة المادة المكدسة، خلال تلك الحقبة الزمنية القصيرة، ومن ثم عدد الاصطدامات التى حدثت فى تلك الفترة، ويمكن إعادة إنتاج هذه الاصطدامات نفسها، فى مختبراتنا، وهكذا نعرف كم مرة تنتج نواة معينة من كل اصطدام محدد. ومن ثم يكون عدد كل نوع من الأنوية المنتجة - "الفيض الأساسى الأولىّ" - اختباراً متفحصاً لكل جوانب الرؤية الشاملة للانفجار الأعظم.

وأفضل مثال لكيفية عمل هذا الاختبار، يتعلق بالفيض الأساسى الأولىّ، للهيليوم - ٤، وهى نواة تتكون من بروتونين ونيوترونين. وتتنبأ النظرية بأن ٢٥ بالمائة من المادة فى الكون، بعد الثلاث دقائق، يجب أن تتكون من هذا العنصر. وعندما تطلع الفلكيون إلى الفضاء وقاسوا الكمية الفعلية للهيليوم فى الكون المعاصر، وطرحوا منها تلك الكمية التى أنتجت فى النجوم منذ زمن الانفجار الأعظم، توصلوا إلى تحديد الكمية التى تنبأوا بها، بدرجة كبيرة من الدقة. ولو كانوا قد وجدوا فيضاً من الهيليوم، اختلفت كميته بنسبة تصل إلى اثنين أو ثلاثة بالمائة، مما تم التنبؤ به، لأصبحت نظرية الانفجار الأعظم فى محنة خطيرة.

وهذا الموضوع عن التنبؤ الدقيق والإثبات اللاحق، يمكن تكراره لعدد من النوى المتباينة، وتتضمن نواة "الديوتريوم"(١)، (بروتون واحد ونيوترون واحد) ونواة "الهيليوم - ٢" (بروتونان ونيوترون واحد" ونواة "الليثيوم - ٧" (ثلاثة بروتونات وأربعة نيوترونات). ويتفق جميع العلماء، أن تنبؤات الانفجار الأعظم، ثبتت صحتها وقتما يتم إخضاعهما للاختبار.

والدليل الدامغ الثانى لنظرية الانفجار الأعظم، يتأتى من مصدر مختلف تماماً. وأفضل طريقة لفهمه، يكون بضرب الأمثلة. إذا دخلت حجرة بها مدفأة انطفأت فيها النيران، ويمكنك أن تعرف منذ متى كانت النيران مشتعلة، إذا نظرت إلى فحم المدفأة. فإذا كان الفحم أحمر وساخناً، معنى ذلك أن النيران انطفأت منذ وقت قليل. أما إذا كان الفحم برتقاليا باهتاً، فربما تكون قد انطفأت منذ مدة طويلة. إن هذا التتابع

(١) الهيدروجين الثقيل. (المترجم)

المتواصل لعملية تبريد الفحم، والتى تصدر فيها إشعاعات لها موجات تزداد طولاً مع مرور الزمن، من الضوء المرئى إلى تحت الأحمر (التى لا تستطيع رؤيتها، ولكنك تشعر بها على راحة يدك).

ويمكن التفكير فى المراحل المبكرة للانفجار الأعظم، وكأنها نيران مشتعلة، والكون بذاته كفحم لهذه النيران. ومثل الفحم فى مدفأتك، فإن الكون يصدر إشعاعات تزداد أطوال موجاتها، أثناء عملية تبريده. واليوم بعد اشتعال تلك النيران، بنحو خمسة عشر بليون سنة، لابد أن تكون هذه الإشعاعات فى شكل موجات دقيقة[1]، وهى نفس النوع من الإشعاع الذى نستخدمه لطهى الطعام (فرن المايكروويف) وإرسال إشارات بث التلفاز. ويكمن الفرق بين الكون والفحم فى المدفأة هو أنه فى المثال الأخير، نقف بعيداً عن الفحم ونشعر بالإشعاع، بينما فى حالة الكون نكون فى داخل المصدر الذى يصدر الإشعاع، أى إننا - فى حقيقة الأمر - داخل كومة الفحم ذاتها.

وفى العام ١٩٦٤، قام (أرنو بنزياس) و(روبرت ويلسون) - وهما فيزيائيان يعملان فى مختبرات هاتف بل فى نيوجيرسى - بتوجيه طبق تليسكوب راديوى ضخم إلى السماء، واكتشفا بأنه بغض النظر عن الاتجاه، فإنهما يستقبلان إشارة تدل على وجود الإشعاعات الدقيقة. وبعد مناقشات فى المجتمع العلمى، اتضح أن هذا الإشعاع هو تماماً ما يمكن أن يتوقعه المرء، إذا كان الكون قد بدأ بالانفجار الأعظم الشديد الحرارة، منذ نحو خمسة عشر بليون سنة. وفى هذا الزمن الموغل فى القدم، برد الكون من درجات الحرارة المروعة التى سادت عند بدايته إلى درجة الحرارة المميزة للموجات الدقيقة، وهى حوالى ثلاث درجات فوق الصفر المطلق[2]. ويحتمل أن يكون هذا الاكتشاف قد جاء فى وقت، ما زالت المناقشات محتدمة حول بنية الكون، مما رجّح كفة

---

(١) إشعاع كهرومغنطيسى تقع أطوال موجاته بين ملليمتر وعشرة سنتيمترات. (المترجم)

(٢) درجة حرارته ٢٧٣,١٥ درجة مئوية تحت الصفر. (المترجم)

الميزان، وأقنع المجتمع العلمى بتأييد نظرية الانفجار الأعظم، واستمر هذا حتى الوقت الحاضر.

ما الاحتمالات ؟

خلال شتاء وربيع عام ١٩٨٦، حظيت بمتعة وامتياز قضاء إجازة عمل لمشاركة مجموعة من علماء الحفريات[1] فى جامعة شيكاغو. كنت أعكف على دراسة مشكلة الانقراضات الجماعية (ما الذى قتل الديناصورات؟)، وأتاحت لى هذه الزيارة التعرف على (دافيد روب)، رئيس المجموعة. وقالوا لى عن (دافيد) إنه أعظم علماء الحفريات فى العالم كله، وهو تقييم – بعد أن عملت معاونًا له لفترة من الوقت – أعتقد أنه يستحقه تمامًا. وهو أيضًا واحدًا من هؤلاء الأفراد النادرين، الذين يجدون متعة هائلة من كل ما يقومون به من عمل. كما أنه يحب طرح الأسئلة عن الأمور، التى يقبلها أى شخص دون مناقشة، وأعتقد أن هذه الصفة لها صلة وثيقة، بما حققه من نجاح كعالم يشار إليه بالبنان. وهو أيضًا لاعب ورق ماهر (كما عرفت – لشدة أسفى– ونحن نلعب "البوكر" فى أواخر إحدى الليالى)، كما أن دافيد يقضى بعضًا من وقت فراغه على حاسوبه الشخصى، محاولاً إيجاد طريقة ليهزم بها النظام فى "البلاك جاك"[2]!

إننى أذكر هذه الأشياء كخلفية لما أريد أن أخبرك بها، أمر ما حدث أثناء زيارة قمت بها مع مجموعة علماء الحفريات. كنا فى مكتب دافيد نناقش بعض الأمور من هنا وهناك، عندما استدار إلىّ وسألنى، فجأة دون أية مقدمات "ما الاحتمالات بأن الانفجار الأعظم قد حدث بالفعل؟". وكما تتخيل، فقد توقفت عن المناقشة مع الآخرين، إذ أخذنى على حين غرّة. وانتابتنى قوة دافعة أوليّة أن أجيب قائلاً "بالطبع إن نظرية الانفجار

---

(١) دراسة أشكال الحياة القديمة. (المترجم)

(٢) لعبة ورق يكون هدفها تجميع أوراق بعدّ أعلى من عدّ الموزع للورق ولكن لا يتجاوز ٢١. (المترجم)

الأعظم صحيحة" بيد أننى توقعت أن يسألنى كيف عرفت، ومن ثم، فقد تريثت فى الإجابة.

وكلما أمعنت التفكير فى السؤال، أتت إلى ذهنى المزيد من الذكريات المتناثرة، تطفو فى عقلى، وتذكرت أثناء تناول غداء خفيف فى قسم الفيزياء المهيب، أن عضواً بارزًا ذو مكانة مرموقة من أعضاء التدريس فى الكلية (لا أريد إحراجه بذكر اسمه) قال بأنه كثيراً ما يفكر فى ترك مظروف مختوم، لا يفتح إلا بعد وفاته بخمسين عامًا. وسوف يُضمِّن هذا المظروف تنبؤات عن الطريقة التى سوف تتمخض عنها مناقشات خلافية وجدلية معينة. وفى أعلى القائمة، سيكون التنبؤ بأن تفسير "الإزاحة نحو الأحمر" دليلا على تمدد الكون، سوف يثبت أنه ليس متسقًا مع هذه الذكريات التى انتابتنى، بالإضافة إلى تجربتى الشخصية فى دراسة بعض الأفكار التى لم تستمر طويلاً، فى علم الكون، والتى سوف نناقشها فيما بعد، كل هذا جعلنى متردداً فى أن أكون متسماً بالتأكيد الجازم فى إجابتى عن سؤال دافيد "ما الاحتمالات بأن الانفجار الأعظم قد حدث بالفعل؟" وأخيراً، قلت له بأننى أعتقد أن الرؤية الشاملة للتمدد الكونى من البداية المروعة للحرارة، يساندها احتمال مرتفع للغاية، بأنها صحيحة، بيد أن الكثير من التفاصيل التى يتضمنها فهمنا، يمكن أن تكون ببساطة، غير صحيحة. ويبدو أن هذه الإجابة قد أشبعت توقعات دافيد، الذى أعتقد أنه طرح السؤال علىّ، لأنه وجهه من قبل إلى أحد أعضاء التدريس فى قسم الفلك - جامعة شيكاغو، وكانت إجابته بأن الانفجار الأعظم كان مؤكداً بنسبة مائة بالمائة. وباعتبار دافيد مقامراً ماهراً، فقد ارتاب فى الشىء القاطع والبات والذى يكون صحيحاً تماماً.

بيد أننى كلما أمعنت التفكير أكثر فى السؤال، أدركت أنه ليس من الممكن الرد عليه بإجابة وحيدة محددة وحاسمة، إذ إن لنظرية الانفجار الأعظم جوانب متعددة، يرتبط بكل منها مستوى مختلف من الثقة.

وكتدريب لإعطاء تقديرات - فى الجدول التالى - فإننى أقدم حدسى الشخصى فى الاحتمالات التى تقدمها الجوانب المتعددة لرؤية الانفجار الأعظم، المقدمة فى هذا الفصل، ومن ثم إثبات صحتها.

جوانب النظرية	الاحتمال
الرؤية الشاملة للتمدد الكونى من البداية المروعة الحرارة	٩٩٪ وأكثر
تشكيل الذرات وتخليق النوى	٩٥٪
توحيد القوة الكهروضعيفة[١]	٩٥٪
تجميد الكوارك والرؤية الشاملة للكوارك - لبتون	٨٥٪
توحيد القوة الشديدة والكهروضعيفة	٥٠٪
التوحيد مع الجانبية	٣٠٪
التماثل الفائق، الأوتار الفائقة	٢٠٪
أى نظريات عن تشكيل المجرات والبنية على نطاق واسع التى نوقشت فيما بعد	١٠٪

(١) لابد أن هذا صحيح، فقد حصل العلماء (شيلدون جلاشو ومحمد عبدالسلام وستيفن واينبرج على جائزة نوبل فى الفيزياء عام ١٩٧٩، بسبب هذا الاكتشاف الذى يعد ركيزة من ركائز فيزياء الجسيمات والنموذج المعيارى. (المترجم)

الفصل الرابع

خمسة أسباب تشرح لماذا لا يمكن للمجرات أن توجد

"يقول التقرير عن التقدم، إنه ليس هناك تقدم"

نك كوزوروك

سائق كاسحة ثلج من مونتان

خلال العاصفة الثلجية في ١٩٨٥

يمكننا تلخيص الرؤية الحديثة للكون فى عبارتين موجزتين، الأولى، أن الكون كان يتمدد على الدوام، منذ الوقت الذى تشكل فيه، وخلال هذه العملية تطور من بُنَى بسيطة إلى أخرى معقدة. والثانية، أن المادة المرئية فى الكون منتظمة فى شكل تسلسل هرمى: تتجمع النجوم فى مجرات والمجرات فى عناقيد مجرية، والعناقيد المجرية فى عناقيد فائقة. والمشكلة التى تواجهنا عندئذ، هى فهم كيف أن كونًا تسيطر على تطوره العبارة الأولى، يمكن أن تصبح بنيته قابلة للتفسير بالعبارة الثانية.

وقد ثبت أن مشكلة تفسير وجود المجرات، واحدة من أكثر الموضوعات الخلافية فى علم الكون. وبإعمال المنطق، فإن المجرات يجب ألا تكون موجودة فى الكون، ومع هذا، فإنها رابضة هناك. ومن الصعوبة أن ننقل مدى عمق الإحباط الذى أحدثته تلك الحقيقة البسيطة بين العلماء. وبمرور الوقت، تحققت تطورات ناجحة، وبدا أنه تم

التوصل إلى حل للمشكلة. ولكن فى كل مرة ينهار الحل، وتنشأ مشاكل جديدة. ونجد أنفسنا ثانية من حيث بدأنا.

وكل بضع سنوات، تعقد الجمعية الفيزيائية الأمريكية - التى تضم تجمعًا مهنيًا للفيزيائيين - جلسة فى أحد اجتماعاتهم، يتحدث فيها الفيزيائيون الفلكيون، عن الطرق الجديدة الأكثر إثارة التى تعالج مشكلة المجرات. وكنت أحرص على حضور عدد كبير من تلك الجلسات، التى جعلتنى أشعر باحترام كبير لألمعية وبراعة زملائى. وفى نفس الوقت، أثارت فى نفسى الشكوكية[١] العميقة، عن الآراء التى قدموها.

واستمعت بشغف فى هذه الجلسات، إلى تفسيرات عن كيف أن الاضطرابات الدوامية الكونية والثقوب السوداء والانفجارات أثناء تشكيل المجرات، والنيوترينوات الثقيلة والمادة المظلمة الباردة، سوف تقدم حلولاً لكل مشاكلنا، وهكذا كونت حصانة لما أطلق عليه (جيم بيبلز) الفيزيائى الفلكى فى جامعة (برنستون) "أسلوب المخادعة" فى علم الكون. وعلى الرغم مما قد تقرأه فى الصحف والمجلات، فإننا مازلنا غير قادرين على الإجابة عن السؤال، لماذا تمتلئ السماء بالمجرات، مع أننا نجحنا فى استبعاد إجابات عديدة خاطئة. وربما نكون فى الوقت الحاضر أقرب كثيرًا للحقيقة، عما كنا عليه من قبل، ولكن لا تدع هذا يخدعك ويدفعك إلى سلامة الطوية.

فليس مستحيلاً أن تفاصيل الحلول الموصوفة فيما بعد، سوف تلحق بالجهود الفاشلة التى تمت فى الماضى. وعلى الرغم من هذا، فإننا سوف نناقش الرأى القائل بأن بعض الأفكار العامة المتضمنة فى تلك الحلول، سوف تشكل - على الأرجح - جزءًا من الحل الكبير، وذلك إذا توصلنا إليه فى أى وقت.

وفى البداية، أود أن أشعرك بمدى الصعوبة والتأثير العميق لهذه المشكلة الملحة، بتقديم خمسة أسباب تؤكد بأن المجرات لا يمكن أن توجد. وسوف يمنحنا ذلك أيضًا

---

(١) المذهب القائل بأن المعرفة المطلقة تكون مستحيلة وغير مؤكدة. (المترجم)

الفرصة لكى نتجول خلال "معرض روج"[1] للأفكار الفاشلة، أى تلك الآراء التى لم تؤتِ ثماراً. وسيتركنا هذا بإحساس شديد بالاتضاع، ونحن نتفحص النظريات السائدة فى الوقت الحاضر.

السبب الأول: لا يمكن أن تكون المجرات قد تشكلت قبل تكوين الذرات

ربما نفكر فى الكون - خلال المراحل المبكرة من تمدد (هابل) - أنه يتكون من عنصرين: المادة والإشعاع، ورأينا فيما سبق، كيف أن المادة خضعت لسلسلة من التجمدات، بينما كانت تتحول تدريجيًا إلى بنى أكثر وأكثر تعقيداً. وبينما كانت هذه التغيرات تستمر باطراد فى شكل المادة، حدثت تحولات جذرية فى الطريقة التى تتفاعل بها المادة مع الإشعاع. وهذا بدوره، يؤدى دوراً محوريًا فى تشكيل المجرات.

إن الضوء والأنواع الأخرى من الإشعاع، تتفاعل مع الجسيمات الحرة المشحونة كهربيًا من النوع الذى يوجد فى البلازما التى شكلت الكون قبل تكوين الذرات.

وبسبب هذا التفاعل، وعندما يتحرك الإشعاع عبر مثل هذه البلازما، فإنه يصطدم بالجسيمات، فترتد إلى الخلف باذلة ضغطا، بنفس الطريقة تقريبًا التى ترتد بها جزئيات الهواء عن جدار إطار العجلة المطاطى، لتحتفظ به منفوخًا. وإذا حدث أن تكتلاً للمادة - فى حجم مجرة - حاول أن يتشكل قبل تجميد الذرات، فإن الإشعاع المتدفق عبر المادة، سوف يمزق التكتل إربًا. وبنفس الفكرة، يميل الإشعاع إلى الاحتجاز داخل المادة. وإذا حاول الخروج، فسوف يعانى من الاصطدامات، ومن ثم يرتد إلى الخلف.

---

(١) صالة عرض لمجموعة من صور المجرمين والمشتبه فيهم، من مقتنيات الشرطة، يتم الاحتفاظ بها لأغراض إثبات الهوية ودليل للإدانة. (المترجم)

وتكمن أهمية هذه العبارة، بأنه من الصعب المبالغة فى تقديرها. إذ إن ما تعنيه - فى واقع الأمر - أنه ما دامت المادة تبقى فى حالة بلازما (أى ما دامت الذرات لم تتجمد بعد)، فلا يمكن أن تكون المجرات قد تشكلت أو حتى بدأت فى التشكل. وتبع هذا فترة محدودة، بدأت قبل هذا التاريخ بحوالى مائة ألف سنة، عندما حدث أول تشكيل للمجرات. وقبل ذلك الوقت، كان التفاعل بين المادة والإشعاع، سوف يمنع أى شىء، مثل كوننا المعاصر، من التشكل.

وبعد تكوّن الذرات، تغير الموقف بشكل واضح. والحقيقة الدامغة هنا، أن الإشعاع لم يتفاعل بنفس القوة مع الذرات، كما حدث مع الجسيمات المشحونة فى البلازما. فإذا وقفت على قمة جبل أو أعلى مبنى مرتفع، وتطلعت إلى ما يحيط بك من مشاهد طبيعية، فإنك - على سبيل المثال - ستتمكن من رؤية علامات بارزة مميزة لتضاريس الأرض، على بعد خمسين ميلاً أو حتى مائة ميل. وفى بعض المناطق، مثل قمم الجبال التى تنتصب عاليًا فى الهواء الرائق فى غرب الولايات المتحدة، يمكنك أن ترى معالم على بعد أكبر.

والآن، وقبل أن ترى هذه المعالم، من الضرورى أن الضوء يجب أن يرتحل من الشىء الذى تراه، إلى عينيك. إذن الخبرة البسيطة لرؤية طريق طويل ممتد، تخبرنا أن الضوء يمكنه أن ينطلق لمسافات طويلة، خلال الهواء، دون أن يتشتت أو يشوش. ولا يمكن حدوث ذلك فى البلازما. إن ذلك يحدث فى الهواء الذى يتكون من ذرات وجزيئات، يُظهر أن التفاعل بين الضوء وهذين الشكلين من المادة، لا بد أن يكون مختلفًا تمام الاختلاف.

فى ذلك الوقت، عندما كان الكون فى مرحلة مبكرة من تطوره، جرت الأحداث فى تسلسل مثل هذا. حتى مَعلَم[1] الـ ١٠,٠٠٠ سنة تقريبًا، كانت المادة فى شكل بلازما،

(١) علامة بارزة مميزة. (المترجم)

ولم يكن من الممكن تشكل أى أجرام فضائية فى حجم مجرة. وعند المئة ألف سنة، بدأت الذرات الظهور وبدأ يضعف التفاعل بين الضوء والمادة.

ولم يحدث تكوين الذرات فجائيًا، بل استمر لما يقرب من مليون سنة. وبين هذين الزمنين انتقلت بنية الكون - تدريجيًا - من البلازما إلى الذرات، وفى الوقت الذى انتهى فيه هذا الانتقال، تبقت بعض الجسيمات الحرة المشحونة كهربيًا. وكانت الذرات هى الشكل السائد من المادة.

وبين الحين والآخر - أثناء تكوّن الذرات - انخفضت قوة التفاعلات بين المادة والإشعاع، إلى الحد أن الإشعاع لم يعد محبوسًا داخل البلازما. ومن ثم، تدفق الإشعاع حرًا، ومنذ ذلك الوقت فصاعدًا، كان له تأثير بسيط على عملية تشكيل المجرات. وباستخدام مصطلحات علماء الكون، نقول بأنه خلال تكوين الذرات، فك الإشعاع تقارنه[١] بالمادة .

وعلى الرغم من أن فك التقارن كان تدريجيا، فإننى بين فترة وأخرى متباعدة، سوف أشير إلى هذه العملية على نحو طليق. سأتحدث عنها على أساس أنها حدثت خلال الـ ٥٠٠,٠٠٠ سنة، وهذا رقم تقريبى، ويمثل - إلى حد ما - منتصف الطريق إلى تجميد الذرات. وسوف يكون هذا كمرجع مختصر، ويجب ألا يعنى أن الكون كان معتمًا إلى أن أصبح عمره ٥٠٠,٠٠٠ سنة، ثم صار شفافًا بعد الـ ٥٠٠,٠٠٠ سنة بثانية واحدة!

وقد توصلت إلى مثال مفيد، للمساعدة فى تكوين صورة ذهنية، لعملية فك التقارن. عندما يقدم إليك مشروب مثل الشاى المثلج، فى كوب زجاجى طويل، لاحظ ما الذى يحدث عندما تضع السكر وتحركه. فى البداية، سوف يصبح المشروب معتمًا، ذلك

---

(١) التقارن: ما يحدث بين الأشياء من تأثير بعضها فى الآخر. (المترجم)

أنه فى تلك المرحلة، يكون السكر فى شكل مكعبات كبيرة نسبيًا، تشتت الضوء بفاعلية. وأنت تعلم أن التشتت فعال، لأن الضوء لا يستطيع تخلل الشاى. بطول كل الكوب، بيد أنه - بدلاً من ذلك - يتشتت. إن الذى يعطى الشاى مظهره الغائم، ذلك الضوء الذى ينتشر داخله باتجاهات عشوائية مختلفة. وفى هذه الحالة يشبه الشاى - مع الفارق - الكون قبل تكون الذرات، عندما كان الإشعاع يتفاعل مع البلازما. وبعد عدة لحظات، يصبح الشاى فجأة شفافًا من جديد.

وما حدث هو أن السكر ذاب فى الشاى، والآن يوجد فى شكل جزيئات تتفاعل بضعف مع الضوء. وأصبح الضوء يأتى خلال الشاى دون أن يتشتت، فيذهب التغيم. وهذا التغير من التغيم إلى الشفافية فى كوب الشاى، يشبه ما حدث فى الكون، عندما تشكلت الذرات. وأصبح الكون شفافًا، عندما فُك تقارن الإشعاع، ولم يتبق شىء ليقاوم قوة الجاذبية، التى تجمع المادة معًا.

وهكذا يمنع التفاعل بين الإشعاع والمادة، بداية عمليات تؤدى إلى تشكيل المجرات، قبل أن يبلغ الكون من العمر ٥٠٠,٠٠٠ سنة، ويصبح ذلك مشكلة أساسية لأن..

السبب الثانى: لم يكن لدى المجرات الوقت الكافى لتتشكل

الجاذبية، هى أكبر قوة تفقد الكون استقراره وتوازنه، وهى لا تترك شيئًا على حاله "بل تعمل دائمًا بنشاط وفاعلية، تحاول أن تجذب كتلا من المادة معًا. وبشكل ما، فإنه يمكن النظر إلى تاريخ الكون برمته، على أنه محاولة يائسة وعبثية وغير مجدية مطلقًا - فى مآل الأمر - للتغلب على الجاذبية. وسيكون من المذهل حقًا، أن نعترف بقوة الجاذبية الكونية، إذا لم تكن قد أدت دورًا رئيسيًا فى تشكيل المجرات.

افترض أن الكون قد بدأ بتجميع على نسق واحد. لكتل متراصة من المادة، ولا يوجد موقع فيه به تركيز أكبر للمادة، أكثر من أى موقع آخر. فى هذه الحالة، يمكنك أن تتوقع أن قوة الجاذبية تعمل على جذب كل شىء فى الكون معًا، إلى شمس مركزية محال وجودها. يمكنك أن تعتقد ذلك، ولكنك ستكون مخطئًا، إذ لا يكون هذا متسقًا مع الحقيقة والواقع.

وتكمن المشكلة فى أن أى تركيز للمادة، مهما كانت موزعة بطريقة متماثلة، سوف توجد بها تجمعات ضئيلة فى مكان ما حتى لو استخدمنا الفحص المجهرى للبحث عنها، إذ سوف ينتج عن الحركة العشوائية للذرات – فى نهاية الأمر – وجود حالة من عدم التماثل فى الكون، تؤدى إلى تكوين فائض صغير من الذرات فى بعض المواضع، ونقص ضئيل فى مواضع أخرى.

وليس من الصعب تصور ما يحدث بعد ذلك، ففى لحظة معينة، تتراكم كمية إضافية من المادة فى مكان ما، إما بسبب حركة الذرات أو لسبب آخر. ويؤدى التكدس الزائد للمادة فى هذا الموضع، إلى أن تكون قوة الجاذبية فيه أشد من المواضع الأخرى المحيطة. وبالتالى، سوف تجذب كتلة أكثر إلى الموضع الذى حدث فيه التركيز الأصلى للمادة. ومع انجذاب المزيد من الكتلة، يصبح التركيز قادرًا على ممارسة قوة تجاذبية أكبر، وسحب المزيد من المادة إليه، وبغض النظر عن التوزيع المماثل الأولى، فإنه ما إن يتشكل أصغر تركيز للمادة، حتى تتحطم الكتلة الخفيفة إلى أجزاء أصغر، ويلتصق كل منها بأحد تركيزات الكتلة الأساسية. وعدم الاستقرار هذا المتأصل فى كتلة من المادة، قد أشار إليه – فى العشرينيات من القرن العشرين – الفيزيائى الفلكى البريطانى سير (جيمس جينز)[1].

(١) (١٨٧٧ – ١٩٤٦)، عالم شهير عمل فى مجالات الفيزياء والفلك والرياضيات. (المترجم)

وللوهلة الأولى، يبدو هذا كبارقة أمل. إن الكون يجب أن يفتت إلى وحدات صغيرة من كتل المادة، وبالمصادفة وبضربة حظ، يمكن أن تتحول هذه الوحدات الصغيرة إلى مجرات. ويحدث لها هذا التحول، على الرغم من أننا تحدثنا فقط عن كون لا يتمدد، والنتيجة التى توصل إليها جينز حقيقية أيضًا، حتى لو كان هناك تمددًا للكون. بيد أن المشكلة ليست بهذه البساطة، إذ إن نفس النظرية التى تخبرنا أن التوزيع المتماثل للمادة، غير مستقر فى حالة وجود هذا التفتت إلى كتل صغيرة، تبلغنا أيضًا عن المدى الزمنى الذى سوف تستغرقه هذه العملية.

ويمكن تلخيص هذا الأمر فيما يلى: هل يمكن لقوى الجاذبية أن تعمل بالسرعة الكافية، بعد حدوث فك التقارن، لتجميع المادة فى كتل بحجم المجرات، قبل أن يجعل تمدد الكون كل شىء خارج السيطرة؟ ولعل واحدة من الصدمات الكبرى لمجتمع علماء الفلك، فى الثلاثينيات من القرن العشرين، هى أن الإجابة الكبرى المدوية لهذا السؤال، النفى بكلمة "لا"!. وفيما يبدو أن أكثر آلية مرجحة لتشكيل المجرات - تلك الآلية المصاحبة لعدم الاستقرار التجاذبى، والتى شرحناها للتو - سوف لا تعمل مع كون يتمدد. وربما أن هذه الحقيقة هى التى قادت (جينز) - عندما تقدم به العمر - ليقترح كونًا خلقت فيه المادة باستمرار فى الفراغات التى تخلفت عن التمدد المجرى. وفى هذه الرؤية، فإن تشكيل المجرات عملية متواصلة، وليست مقتصرة على زمن معين من تاريخ الكون.

وأطلق على هذا الرأى فيما بعد "الكون المستقر"، وفى نهاية الأمر، أهمل بعد تجميع الدليل الدامغ والمقنع، الذى يذعم نظرية الانفجار الأعظم (انظر الفصل الثالث).

وهكذا يمكن تلخيص مشكلة تشكيل المجرات، كما يلى: لا يمكن أن تبدأ المجرات فى التشكل، إلا بعد أن فك تقارن الإشعاع والمادة. ومع هذا، إذا كانت الآلية الوحيدة التى تتوفر لنا هى الاختلالات التجاذبية من النوع الذى قال به (جينز)، فإن كل المادة سوف تخرج عن المجال الذى يحدث فيه أى نشاط، قبل أن يتمكن أى شىء - مثل

الكتل المجرية الحالية - من التجمع. وثمة رؤية ضيقة للزمن بين فك التقارن والنقطة التى تكون فيها المادة منتشرة فى الكون على نحو رقيق غير كثيف للغاية، وأى آلية لتشكيل المجرات يمكننا قبولها، يجب أن تعمل بسرعة كافية حتى تتناغم مع تلك الرؤية الضيقة للزمن.

وهناك طريقة واحدة تفرض نفسها للوصول إلى حل. إذا لم نتمكن من الانتظار حتى تتكدس التركيزات الذرية، وإذا استطعنا إيجاد طريقة ما لنعطى الانهيار التجاذبى، دفعة البداية، فربما نكون قادرين على ضغط تشكيل المجرات، ليحدث فى الوقت المخصص. وثمة طريقة واحدة ممكنة لحدوث ذلك هو الحصول على تركيزات الكتل التى تكونت ببعض العمليات الفيزيائية الأخرى، مثل الاضطرابات فى سحب الغاز الكونية، بعد تكوين الذرات. ولكن للأسف يقودنا هذا الاتجاه فى المناقشة إلى.....

السبب الثالث: لن تعمل الاضطرابات أيضاً

إن "دفعة البداية عبر الاضطرابات"، فكرة بسيطة، تتضمن الرؤى الأولى، التى تم الإعلان عنها فى نحو العام ١٩٥٠، وكان نص الافتراض كما يلى: أى عملية كونية فى عنفها واضطرابها مثل المراحل المبكرة من الانفجار الأعظم، لن ينجم عنها توزيع متماثل للمادة. ولن يكون الانفجار الأعظم مثل النهر العميق والساكن، ولكن مثل أنهار الجبال سريعة الجريان التى تمتلئ بالزبد والاضطراب. وفى هذا التدفق المضطرب، نتوقع وجود دوامات ودوارات وزوابع من الغازات. وفى تلك النظرية، تكون الدوامة - فى واقع الأمر - تركيز من المادة من النوع الذى قال به (جينز)، تجذب إليها المادة المحيطة بها، بسبب قوتها التجاذبية. وإذا كانت الدوامة بالحجم المناسب، فيمكنها أن تجذب كتلة فى حجم مجرة، قبل أن تجد الفرصة لكى تتشتت، وهنا تصبح هذه المادة ضخمة بدرجة كافية، حتى تكون متماسكة بقوة الجاذبية، بعد انتهاء الدوامة الكونية.

هذا شيء رائع، بيد أن هناك بعض الصعوبات التي تواجهنا. في المقام الأول، إن الدوامة التي تتكون قبل علامة الـ ٥٠٠,٠٠٠ سنة، مازالت تركيزًا للكتلة، ومثل كل تركيزات المادة الأخرى، سوف تتمزق إربًا بتأثير الضغط الإشعاعي المروع.

وبالتالي، فإن الدوامات الكونية الهائجة، التي تعمل كنوى تكاثف للمجرات، يجب أن تبرز إلى الوجود، بعد ظهور الذرات. ومعنى ذلك أن الدوامات الكونية التي تشكلت بعد التجميد الذري مباشرة، هي تلك التي - على الأرجح - أدت إلى تكوين المجرات، لأنها الوحيدة التي كان لها الوقت الكافي لتجميع المادة معًا. وإذا كانت هذه الدوامات بالحجم المناسب، فإنها تستطيع - بلا ريب - أن تنتج المجرات التي نرصدها في الوقت الحاضر. ويمكننا - ببساطة - أن نفترض أن هذه الدوامات كانت في حجم المجرات (أو قريبة من حجمها)، عندما وجدت في وقت تفتت التجمد.

بيد أن هذا الرأي يثير نقطة فلسفية مربكة. إننا يمكن أن نتطلع إلى المجرات التي نراها، ونتخيل شكلها في الزمن الموغل في القدم، ولنفترض وجود مجموعة من الدوامات الكونية العنيفة التي سوف تنتج هذه المجرات. إن هذه الصورة الذهنية لن تحل المشكلة، بل إنها تصيغ السؤال القديم بشكل مختلف، دافعة إياه إلى الوراء خطوة واحدة، وبدلاً من السؤال "لماذا تكون المجرات كما هي الآن؟" نوجه السؤال "لماذا كانت الدوامات الكونية بهذا الشكل في الزمن الغابر" وهذا ليس تقدمًا كبيرًا، أليس كذلك؟

وعلى أية حال، فإن فكرة استخدام الاضطراب الكوني كسبب لبدء تشكيل المجرات، لم تلق نجاحًا على الإطلاق إذ إن مدى عمر الدوامات الكونية - أي استمرارية وجودها في حركة دورانية ملتوية - ليس طويلاً بما يكفي لإنتاج أنواع المجرات التي نرصدها في الوقت الحاضر. وأهمل العلماء هذه الفكرة لتفسير تشكيل المجرات، في منتصف السبعينيات من القرن العشرين.

السبب الرابع: لم يكن لدى المجرات الوقت الكافى لتشكيل العناقيد المجرية

ولعلنا نواجه صعوبات فى بحثنا، لأننا ننظر إلى مشكلة تكوين المجرات، نظرة ضيقة محدودة. وربما الأجدر بنا أن نبحث الأمور على مستوى أوسع، ونأمل فهم كيفية تشكيل عناقيد المجرات، أما نشوء المجرات الفردية فسوف تعتنى بنفسها. وتؤدى بنا هذه الفكرة - بطبيعة الحال - إلى السؤال المطروح عن كيفية تشكل التركيزات الهائلة للكتلة فى الحياة المبكرة للكون. وإحدى أبسط الأفكار عن الشكل الذى ربما كان يتخذه الكون، عند تكوّن الذرات، أنه بصرف النظر عن الأحداث الكونية الأخرى التى تجرى، فإن درجة الحرارة كانت متماثلة فى كل مكان. ويطلق على هذا "النموذج المتحارر"[1]. ويتناغم هذا مع الافتراض بأن الإشعاع فى الكون المبكر كان منتشراً بتماثل، سواء كانت المادة متكتلة معًا أم لا؟[2].

وإذا بحثت فى النتائج الرياضية للنموذج المتحارر، لوجدت أن أنواع تركيزات الكتلة، التى تكون قد تشكلت فى الكون المبكر، يمكن شرحها بغاية السهولة. إذ مع انتشار درجة الحرارة فى كل أرجاء الكون، سوف تنتج التذبذبات العشوائية العادية، تركيزات للكتلة من كل الأحجام، فإذا أردت إيجاد تركيز بحجم كوكب، سوف تجده دون عناء، وكذلك بحجم مجرة وعنقود مجرى، وهلم جرا. وفى اللغة الاصطلاحية لعالم الفيزياء الفلكية، سوف تظهر تركيزات الكتلة على كل المستويات.

وفى هذا النموذج، ثمة حل بسيط محدد، لحل مشكلة المجرات، ذلك أن أصغر تركيزات الكتلة، تنمو بسرعة أكبر من تلك التى لها حجوم كبيرة، وأول أشياء سوف تنمو ستكون الأشياء الصغيرة نسبيًا، والتى يطلق عليها "المجرات الأولية"، وربما

---

(١) متساوى الحرارة. (المترجم)

(٢) إن العلاقة بين الحرارة الثابتة والتوزع المتماثل للإشعاع، قد لا تكون واضحة، وسوف تأخذ وقتا طويلاً لإثباتها. أرجو أن تأخذها الآن كأمر مسلم به. (المترجم)

تحتوى كل منها على حوالى مليون نجم. وهذه المجرات الأولية سوف تتكتل فيما بعد، بتأثير الجاذبية، لتشكيل مجرات مكتملة النمو، التى سوف تتكتل معًا بدورها، لتكوين العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة. وهذا النموذج، يبنى نفسه "من أسفل إلى أعلى". والعقبة الوحيدة هنا - ببساطة - أنه لم يتوفر الوقت الكافى لاتحاد المجرات مع بعضها، تحت تأثير الجاذبية، منذ لحظة الخلق. ومع هذا، وكما سوف نرى بالتفصيل فى الفصل الخامس، أن هناك بعضًا من تجمعات المجرات فى السماء، بالغة الضخامة والتعقيد. وهذا يدفعنا إلى الاستنتاج، بأن الكون، لم تكن درجة حرارته متماثلة خلال كل أجزائه، عندما حدث فك التقارن.

والمجادلة التى طرحناها للتو، لا تعنى على الإطلاق، أنها ضد وجود المجرات. ولكنها تظهر فقط، أن المجرات لا يمكن أن توجد، إذا افترضنا أن الإشعاع كان موزعًا بتماثل فى الكون المبكر. وهذا الافتراض - على الرغم من أنه منطقى بقدر كاف فإنه ليس محفورًا كالوصايا العشر، فوق ألواح حجرية[1]. وحيث إنه أثبت فشله فى التطبيق، إذن، فإننا أحرار دائمًا، لتجربة شىء آخر، على سبيل المثال، الافتراض بأن الإشعاع لم يكن موزعًا على نسق واحد فى الكون المبكر. وإذا واصلنا بحثنا فى هذا المجال، فإننا سوف نرتطم بـ......

السبب الخامس: لو أن الإشعاع يتكتل مع المادة، والمادة تتكتل فى المجرات فيكون إذن الإشعاع الكونى للموجات الدقيقة غير صحيح.

إذا لم يكن الإشعاع قد انتشر بشكل متماثل، مستقلا عن المادة فى الكون، أين كان يمكن أن يوجد؟ ويتتبع الأساليب النموذجية للفيزيائيين النظريين، علينا أن نأخذ بعين الاعتبار الافتراض العكسى، سوف نفترض أنه فى الكون المبكر، أن المادة

(١) يقصد المؤلف أن هذا الرأى ليس منزها عن النقد. (المترجم)

والإشعاع مندمجان معًا، إذا كان الوضع هكذا، ففى حالة وجود تركيز للكتلة، سوف يكون بالتالى تركيزًا للإشعاع. وفى اللغة الاصطلاحية للفيزياء، فإن هذا يسمى وضعًا "أدياباتيًا"(١)، الذى سوف ينشأ مع التغيرات فى توزيعات الغاز، وستكون سريعة للغاية، إلى الحد أن الطاقة لا تتمكن من الانتقال بسهولة من إحدى النقاط إلى النقطة التى تليها. إننا نعرف أنه لكى نشكل مجرة، فلابد أن تكون المادة فى الكون، مقسمة بشكل واضح إلى كتل، عندما تكونت الذرات، وإننا نطلق على هذا "نعطى العملية إشارة تشغيل البداية". والنتيجة الطبيعية الضرورية، هى أنه تحت ظروف الأدياباتية السائدة، لابد أن الإشعاع أخذ يتكتل أيضًا. بيد أن هذه النتيجة تتحدى إحدى الحقائق الثابتة للكون الذى نعرفه. وإذا تطلعت إلى إشعاع الموجات الدقيقة (انظر الفصل الثالث)، الذى يتدفق إلينا من القطب الشمالى للأرض، ثم استدر وانظر إلى الإشعاع يأتى من اتجاه القطب الجنوبى، سوف تلاحظ أنهما متطابقان إلى حد كبير. وفى الحقيقة، إنك بغض النظر عن الاتجاه الذى توجه نظرك إليه فى السماء، فإن إشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون، يجيء لنا متماثلاً من كل الاتجاهات فى السماء. وهذه العبارة صحيحة "بدقة تبلغ واحداً فى الألف. ومن هذا التماثل، نستنتج أنه عندما فك الإشعاع تقارنه بالمادة، لا بد أنه كان موزعًا بطريقة متماثلة تمامًا فى كل أرجاء الكون. والمحصلة النهائية هى: أن ما هو مطلوب من إشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون، فيما يتعلق بعملية تشكيل المجرات، وما نلاحظه من تماثلها، يتعارضان تمامًا فيما بينهما إذ يتطلب المذكور أولاً أن يكون الإشعاع متجمعًا مع المادة، فإذا كانت المادة متكتلة عندما تكونت الذرات، كان لابد من آثار لهذا التكتل فى إشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون، فى الوقت الحاضر. ومن ناحية أخرى، فإن التماثل الملاحظ لإشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون، يدل ضمنيًا على أن الإشعاع من المستحيل أنه

---

(١) Adiabatic، أى ثابت الحرارة، وهى صفة تطلق على كل عملية تحدث فى نظام حرارى، لا يصاحبها فقد أو كسب حرارة. (المترجم)

كان متكتلاً بشكل كامل، وإلا ما أصبح متماثلاً فى أيامنا هذه. وعندما تجرى الحسابات الرقمية، يجد علماء الفيزياء الفلكية، أنه من المستحيل التوفيق بين هذين المتطلبين المتعارضين. إذن لا يمكن لإشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون أن يكون متماثلاً وغير متماثل فى نفس الوقت.

وماذا بعد؟

إن المنطق المستخدم فيما سبق، فى التفكير والمناقشة، يؤكد - بما لا يدع مجالاً للشك وبوضوح تام - أننا لا نستطيع أن نأخذ كونًا يمتلئ بالمجرات كأمر مسلم به. وأسهبنا فى شرح أن الكون كان أكثر تعقيداً مما تصور أى شخص، عاش فى زمن (هابل). بيد أن تفحصنا للنظريات التى لم يصادفها النجاح، أظهرت أيضًا بعض العناصر التى يجب أن تشملها أى نظرية صحيحة عن تشكيل المجرات.

إننا نعرف أنه إذا كان على المجرات الانتظار، إلى ما بعد فك تقارن الإشعاع، حتى تبدأ فى التشكل، لما استطاعت تحقيق ذلك أبدًا. إن التقلص التجاذبى من توزيع متماثل للمادة، يكون بطيئًا للغاية ليقاوم بمفعول مضاد تمدد الكون الذى قال به (هابل). وبالتالى، فإن الكون - بعد فك التقارن - تكون مجراته بالفعل قد قطعت شوطًا طويلاً، فى طريقها إلى استكمال تشكيلها. ولا تحتاج المجرات أن يكون تشكيلها مسبقًا، ولكن على أقل تقدير، فإن الكون يجب أن تغرس به بذور ويدعم، بنوع من تركيزات الكتلة التى يمكنها أن تطلق عملية التقلص التجاذبى. وسوف تعمل هذه التركيزات - بلا ريب - مثل هباءات الغبار التى تعمل كنوى تتشكل حولها قطرات المطر فى الجو. إن تلك التركيزات للكتلة سوف تكون بمثابة النوى المتكثفة للمجرات.

وإذا كانت هذه النوى فى المكان المناسب عند الاحتياج لها، فلابد أنها تكونت فى موضع ما مبكرًا فى تاريخ الانفجار الأعظم وبقيت على قيد الحياة حتى علامة

الـ ٥٠٠,٠٠٠ سنة. ومن المناقشة في صفحة ٥٦ (السبب الأول)، نعرف أن التركيزات العادية للمادة، لا يمكنها أن تقوم بهذا. إذا كانت قد تمزقت إربًا بتأثير ضغط الإشعاع المروع، قبل زمن طويل من تمكنها من العمل كنواة متكثفة لمجرة. وأيًا كانت "البذرة" التي نشأت مبكرًا، كان لابد لها أن تقاوم احتدام الإشعاع وضغطه المروع، لمدد طويلة. ومن ثم، يجب أن تكون "بذور" المجرات مكونة من نوع من المادة، التي لا تتفاعل بقوة مع الإشعاع. إن هذه تنويهة عن الكون، كما سنرى في الفصل السابع، التي زودتنا ببعض الأمل، بأننا سنتمكن من تلمس طريقنا خارج ذلك النوع من المعضلات التي في مناقشتها.

ومع ذلك، وقبل أن نتوجه إلى هذا التساؤل، يجب أن نلاحظ أن السببين الرابع والخامس، اقترحا بقوة، أن مشكلة المجرات هي في حقيقة الأمر، جزء يسير من تساؤل أكبر، يتعلق بالبنية الشاملة للكون. وقبل أن نستطرد في بحثنا، ونتأمل الحلول الحديثة للتساؤل، ثم سوف نستغرق بعض الوقت لمناقشة - بشيء من تفصيل أكثر - الطريقة التي تنتظم بها المجرات في السماء.

الفصل الخامس

فقاقيع وعناقيد مجرية فائقة

"وأدركت أن حياتى كانت فاشلة

عندما أخذت ألاحظ بانتباه الفقاقيع فى كأس الجعة".

(أغنية شعبية غربية)

يعرض بمعهد الفن فى شيكاغو مجموعة من لوحات فرنسية تنتمى لأواخر القرن التاسع عشر الميلادى، وتعد إحدى أفضل المجموعات فى العالم لهذه الفترة من الزمن، وقد اقتنيت خلال الوقت التى كانت فيه مدينة شيكاغو بحق، كما يقال عنها "مركز صناعة تعبئة اللحوم وتغليفها، كما تشتهر بخطوط السكك الحديدية التى تعد الأفضل فى كل الولايات المتحدة".

ومن بين أشهر تلك اللوحات الفرنسية، تلك اللوحة الكبيرة المرسومة على الكنفا[١] للفنان الفرنسى (جورج سورا)[٢]. وعنوانها الرسمى "البحيرة الكبرى"، ولكنها معروفة بين العامة باسم "بعد ظهر يوم أحد فى المتنزه العام".

---

(١) قماش غليظ من القطن أو الكتان معد للرسم الزيتى. (المترجم)

(٢) (١٨٥٩ - ١٨٩١) من كبار الرسامين الفرنسيين. (المترجم)

وتظهر مجموعة من الباريسيين يتجولون فى متنزه عام قريبا من نهر السين. ويبلغ من روعة اللوحة، أنها أصبحت إلهامًا لأحد عروض برودواى أطلق عليه "يوم أحد فى المتنزه العام مع (جورج)". واستخدم الفنان (سورا) تقنية فى الرسم لم تكن مألوفة فى عصره. فبدلاً من جر فرشاته على الكنفا بالطريقة التقليدية، عمد إلى لمس الكنفا فقط بطرف الفرشاة. وكانت النتيجة، رسم زيتى مكون من كمية هائلة من النقاط الصغيرة الملونة ويطلق على هذه الطريقة فى الرسم "التنقيطية"[1].

وبسبب هذه التقنية فى الرسم، يكون النظر إلى اللوحة الفنية تجربة فريدة. وإذا تطلعت إلى اللوحة من بعيد، ترى ما الذى كان يعنيه الفنان، منظر المتنزه العام وما به من أشخاص يتمشون أو يجلسون. وإذا اقتربت من اللوحة، فإن المنظر يختفى وكل ما تراه مجرد مجموعة من النقاط الملونة المتناثرة فوق قماش الكنفا. وإن المشاهد الصقيلة والناعمة التى تتراءى لك عندما تنظر إلى اللوحة الكبيرة، تخفى بين طياتها التركيب الفعلى المنقط.

وتقدم لوحة (سورا) هذه، تشابهًا جزئيًا بأحد أهم المفاهيم الباقية فى الذهن والتى تلقى تقديراً من الفلكيين، عن بنية الكون. ومضمون هذا المفهوم أننا إذا نظرنا إلى أحد المستويات الكبيرة بما يكفى، سوف نجد أن الكون صقيل وناعم وموحد كليًا فى البناء والتركيب. ومنذ عهد أينشتين وما بعده، اعتبر ثقاة علماء الكون أن هذه العبارة صحيحة.

ومع هذا، فإنه وفق الحقيقة والواقع، فإن الكون الذى نعرفه، متكتل[2]. وتتألف مناطق الكون المجاورة لنا - فى معظمها - من فضاء فارغ، لا تقطعه إلا الشمس وكواكب وقطع الصخور التى نطلق عليها "الكويكبات". وإذا تطلعنا إلى العالم الخارجى، سوف نجد كونا فيه الكتلة المرئية متجمعة فى مجرات تفصل بينها مسافات مروعة، وهذه المجرات نفسها، قد تجمعت فى عناقيد مجرية. ومهما حاولنا، فالأرجح

---

(١) مذهب فى الرسم يعتمد على التصوير بالنقاط الملونة. (المترجم)

(٢) مكدس بالكتل. (المترجم)

أننا لن نجد طريقة لنحصل بها على مشهد من الضخامة بقدر كاف من الخلق، تمكننا من رؤية بنية بسيطة وصقيلة للكون. ويبدو أنه من المستحيل أن نبعد إلى حد كاف عن لوحة (سورا).

ويجد العلماء أن مجموعة العوامل والظروف، التى سادت فى تلك الحقبة، مزعجة ومثيرة للقلق. وإننى دائمًا مدرك بكدرة بتفضيل زملائى للرأى القائل، بتماثل الكون، ولكن حتى بدأت التخطيط لكتابة هذا المصنف، لم أعمل تفكيرى كثيراً فى الأسباب التى أدت بهم إلى اعتناق هذا الرأى، ولا أعتقد أن هذا الأمر مشابه للافتراض الذى جعل اليونانيين يفضلون فكرة أن الأرض مركز للكون. ويدرك العلماء - بكل تأكيد - وجود عدم التجانس فى الكون، إذ كان هناك، بل يتعاملون معه إذ لزم الأمر، وأعتقد أن ذلك ما يتمنون، فى قرارة أنفسهم وجوده، وبأنه فى مستوى ما، سوف يختفى عدم التجانس من الكون، تمامًا كما اختفت النقاط الملونة فى لوحة (سورا)، إذا ابتعدنا عنها بقدر كاف.

وجزء من السبب الذى أدى بالعلماء إلى الانخراط فى ذلك الاتجاه، له أصول تاريخية. لقد تطورت الفيزياء وعلم الفلك، بدراسة المنظومات المتجانسة، ولا ريب أن هذه الطريقة هى الأسهل فى التعامل معها. وحتى عندما تعامل العلماء مع منظومات مكونة من وحدات متمايزة مثل المجرات والذرات، فضلوا تجاهل الصعوبة التى تكتنف عدم التجانس، ومن ثم، تظاهروا بأن بنية الكون صقيلة وملساء، وهذه الطريقة فى التعامل مع الطبيعة لها ميزة واحدة هائلة: أنها تؤتى ثمارها. وإذا لم تنجح فى هذا، ما استطاع المهندسون ابتكار المحرك البخارى أو خط الأنابيب، قبل استكمال تطوير النظرية الذرية. ويمكننا عادة تجاهل حقيقة، أن المياه مكونة من ذرات، ونتعامل معها كما لو كانت وحدة متوالية، بحيث لا يمكن تمييز أى جزء منها عن الأجزاء المجاورة. وهذه الحقيقة محفورة فى ذهن كل طالب أو طالبة علوم، منذ بداية تعليمه (أو تعليمها)، ولا عجب - حينئذ - بأننا طورنا فى داخلنا شعوراً - على الرغم من أنه قد يكون

حنينًا للماضى - إلى الأيام التى كان فيها كل شىء صقيلاً وسلسًا ومريحًا، ومن ثم فإننا نظل نأمل أن يكون كوننا - فى نهاية الأمر - متناغمًا مع هذا الإطار المألوف لنا. واستمر هذا التفضيل، بعد اكتشاف المجرات، وكان من الممكن دائمًا الاعتقاد، بأننا مازلنا قريبين للغاية من المشهد الكونى. بيد أنه منذ السبعينيات من القرن العشرين، أصبح من الصعوبة - التى تتزايد عبر الأيام - أن نظل نتمسك بذلك الاعتقاد الذى لا يقدم على دليل منطقى أو مادى. إذ عندما نتطلع إلى الكون على مستويات ضخمة واسعة النطاق وشاملة، نفشل فى مشاهدة منظومة كونية، تزداد بساطتها على مر الزمان. وفى حقيقة الأمر، إننا نرى كونًا، يبدو أنه يظل معقدًا، حتى فى أضخم المستويات التى يمكننا رصدها. وأدى اكتشافان إلى الدفع بذلك الرأى - بقوة - إلى بؤرة المجتمع العلمى: أولهما الاكتشاف الذى بدأ فى العام ١٩٧٨، لسلسلة من العناقيد المجرية الفائقة المروعة، والثانى كان فى العام ١٩٨١، باكتشاف الفراغات الكونية.

عناقيد مجرية وعناقيد مجرية فائقة

ألمحنا بالفعل فيما سبق، إلى إحدى أهم السمات البنيوية للكون، وهى حقيقة أن المجرات ليست موزعة عشوائيًا فى الفضاء، لكنها تتجمع معًا لتكون ما أطلق عليه "العناقيد المجرية". وأول دراسة جادة لهذه العناقيد أجراها الراحل (جورج أبل)[1] بمعهد كاليفورنيا للتقنية، فى العام ١٩٥٨. لقد عكف على دراسة ألواح فوتوغرافية التقطت فى مرصد (مونت بالومار)، واستطاع التعرف على ٢٧١٢ تجمعًا للمجرات التى يطلق عليها الآن "عناقيد أبل المجرية". وهذه العناقيد هى تركيبات تشتمل على أعداد هائلة من المجرات، فى تقاربية وثيقة من بعضها.

(١) فلكى وباحث فى جامعة كاليفورنيا (١٩٢٧ - ١٩٨٣). (المترجم)

وتنتظم أكثر من نصف كل المجرات فى الفضاء، فى عناقيد متباينة الأحجام. ومجرة الطريق اللبنى، هى جزء مما يطلق عليه الفلكيون "المجموعة المحلية".

وهذا العنقود المجرى تحديداً يتكون من الطريق اللبنى ومجرة "أندروميدا" (المرأة المسلسلة). وهما مجرتان هائلتان تؤديان دور مرساتين تجاذبيتين، بالإضافة إلى عشرين مجرة أخرى صغيرة - على الأقل - تجر معهما. ويقدر العلماء هذا التجمع كله، بنحو ثلاثة ملايين سنة ضوئية، من جانب إلى آخر. وبمقارنته بالعناقيد المجرية الأخرى، لا يعد هذا الرقم لافتاً للنظر، إذ إن بعض العناقيد الضخمة تحتوى على آلاف عديدة من المجرات.

اكتشاف بنية كونية ذات أبعاد مروّعة

إن القصة التى سوف أحكيها فى هذا الجزء، يمكن تلخيصها بطريقة بالغة البساطة: تقريبا كل المادة المضيئة فى الكون - أى المادة التى يمكننا رؤيتها[1] - تكمن فى العناقيد المجرية الفائقة. وتلك العناقيد المجرية الفائقة، مثل أوتار بالغة الطول تنتظم فيها مجموعات المجرات، وكأنها حبات من اللؤلؤ تصطف فى عقد، وقد أطلق اصطلاح "الفراغات" على المسافات المروعة، بين هذه العناقيد المجرية الفائقة، وتخلو تلك الفراغات - نسبياً - من المادة المضيئة، كما سوف نرى وشيكاً.

وقد بدأ الاعتقاد باحتمال وجود العناقيد المجرية الفائقة، بالعمل الذى قام به (جورج آبل) والمذكور آنفًا. وعلى الرغم من أنها لم تكن مجال بحث أساسى، فقد شهدت الستينيات وأوائل السبعينيات من القرن العشرين، تدفقًا وطيداً من المحاولات لاستخدام أسلوب ما، مثل تقنية (آبل)، لاستنباط البنية ذات المقياس المروع للكون. وفى

---

(١) المادة المرئية هى تلك المادة التى ينبعث منها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسى. (المترجم)

العام ١٩٦٧، نشر (دونالد شين) و(كارل ورتانن) من مرصد (ليك) فى كاليفورنيا، فهرسًا مفصلاً يتضمن مواقع مليون مجرة فى السماء، وكان هذا - حتى ذلك الوقت - مسحًا شاملاً لم يسبق له مثيل. وكان العالمان يؤديان عملهما المضنى كلية بالعين المجردة، وقد تمكنا من تفحص وتحليل آلاف من الألواح الفوتوغرافية، وسجلا مواضع المجرات فوقها.

هب أنك كلفت بمهمة تفحص وتحليل خريطة شارع لكل مدينة كبيرة فى الولايات المتحدة، وطلب منك تسجيل أماكن كل التقاطعات الرئيسية بها. سوف تكون مهمتك الشاقة، متماثلة مع تلك التى أنجزها (شين) و(ورتانن).

ولا عجب أنهما استغرقا اثنى عشر عامًا لإتمام هذه المهمة البالغة الصعوبة!

ووفقا للمعتقدات والأفكار المتعارف عليها فى علم الفلك، قاما بتطوير كل الطرق الممكنة لينجزا مهمتهما فى إحصاء المجرات، فى غمرة المهام الشاقة الأخرى. وكان (ورتانن) - باعتباره مدير مختبر - بمقدوره أن يكون قادرًا على العمل فى تفحص وتحليل أحد الألواح الفوتوغرافية، بينما يجرى محادثات هاتفية طويلة حتى السأم والملل، مع مديرين ينعمون بمكاتب أنيقة فاخرة!

وباستخدام المسح الذى قام به (شين) و(ورتانن)، تمكن (ب.ج.أ "جيم" بيبلز) ومعاونوه فى جامعة (برنستون) من تجميع خريطة كاملة للكون بأسره. وكان هذا أول تصور ذهنى شامل للكون، ومن ثم، فقد حازت تلك الخريطة على شعبية واسعة ورواجًا كبيرًا. وظهرت فى كل أنواع الكتب الدراسية وفى لوحات ضخمة ملونة، وعلقت فى معظم الأقسام الفلكية بالولايات المتحدة، بل لقد تم تسويقها لتزين داخل وعاء للحساء! والرأى عندنا، أن الأمر البالغ التأثير فى الخريطة، الاعتقاد بأنها تظهر - بشكل أخاذ للغاية - البنية الخيطية والشبيهة بالنسيج المشبك للكون.

بيد أن المظهر قد يخدع. فعندما نشرت لأول مرة خريطة (بيبلز) الكاملة عن الكون. كانت هناك مناقشات ومجادلات عديدة، عن كيفية شرحها وتفسيرها. ما دامت

الألواح الفوتوغرافية، التى كانت مصدرًا لها، تشتمل على صور للسماء ذات بعدين فقط، إذن فليست هناك ضمانة بأن تلك المجرات التى تبدو منتظمة على طول خيط رفيع ملفوف، هى فى حقيقة الأمر، ترتبط مع بعضها. وربما كانت مواضعها لا تعدو أن تكون على طول نفس خط الرؤية[١] من كوكب الأرض، ومن ثم، فهى - على غير ما هو مفترض فى الخريطة - غير مرتبطة ببعضها.

وثمة حقيقة أخرى يجب التنويه عنها حول "خريطة المليون مجرة"، إنها تثقيفية بشكل واضح ومحددة، وتمس طبقة رقيقة ملساء، من العقل البشرى. لا تلقى إلا القليل من التقدير والامتنان، إن بصيرتنا وعقولنا - متأقلمة بمهارة وبراعة - لرؤية نماذج فى بيئتنا. وبالنسبة لأسلافنا الأوائل، الرئيسيات[٢]، كان هذا النوع من المهارة، أساسيًا لا غنى عنه لأداء بعض المهام اليومية، مثل البحث عن الفاكهة الصالحة للأكل، بين الأوراق المتشابكة للنباتات.

ولقد حملنا هذا الإرث معنا، فى القدرة الرائعة للعقل البشرى، المتمثلة فى تتبع واكتشاف النماذج فى البيئة. ولم يبتكر حاسوب حتى الآن يماثل قدرة طفل فى الثالثة من عمره، عندما يتعلق الأمر برؤية النماذج فى بيئتنا. بأذهاننا إننا فى الواقع، لدينا قدرة رائعة لإدراك النماذج، تلك التى نراها عادة بأذهاننا وحتى لو لم تكن هناك!

فكر فى اختبار (رورشاخ)، الذى طوره علماء النفس ليعاونهم فى دراساتهم المتعلقة بالشخصية الإنسانية، ويتكون هذا الاختبار من سلسلة من البطاقات الصغيرة، تظهر عليها بقع غير منتظمة من الحبر. وليس هناك نموذج جوهرى فى البقع، ولكنك إذا نظرت إليها، فسوف ترى أشياء متباينة. فعقل كل شخص يفرض بشكل إلزامى، نماذجه الخاصة به على تلك البقع، وهذا ما يعطى الطبيب النفسى رؤية ثاقبة للطريقة التى يعمل بها العقل. وعودة إلى خريطة المجرات، لكى نتساءل ما الذى نستفيده من

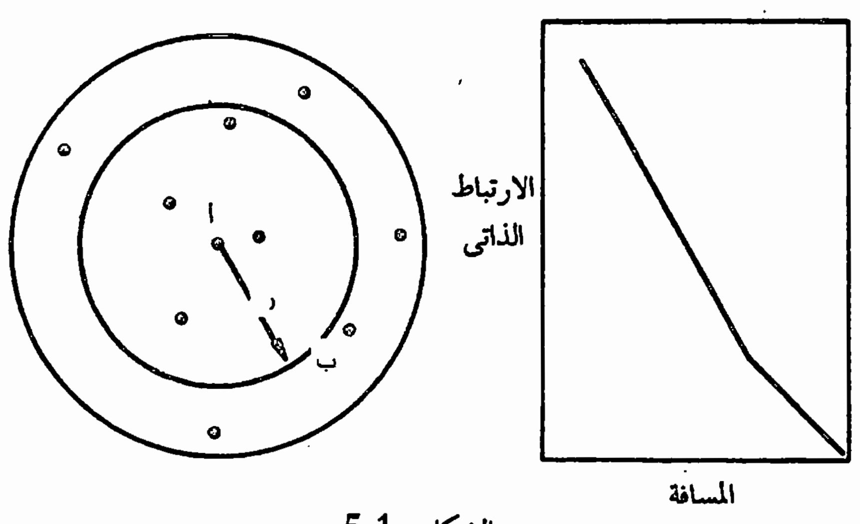
---

(١) خط وهمى من العين إلى الشىء المدرك بواسطة الحواس. (المترجم)

(٢) شبيهات الإنسان. (المترجم)

هذا النموذج الكونى، الذى يشبه النسيج المشبك؟ هل هو – فى الحقيقة – موجود هناك فى السماء، أم أن الكون قدّم لنا اختبار (رورشاخ) ولكن على مدى بالغ الضخامة؟

وهذا ليس سؤالاً فلسفيًا مجردًا، ويمكن بالفعل الإجابة عنه بتطبيق بعض الإحصائيات شديدة البساطة. والمخطط مرسوم فى (الشكل ١-٥) (إلى اليسار). ركز انتباهك على مجرة واحدة، مثل تلك التى معنونة أ ثم إحصِ كم عدد المجرات التى توجد على بعد أقل من المسافة ر، بعيدًا عن أ. وفى الشكل، هناك أربع من هذه المجرات. ويمكنك أن تكرر ذلك الإحصاء لقيم متباينة للمسافة ر، ملقيًا بشبكتك إلى مدى أرحب، بينما تتوسع فى إجراء هذا الإحصاء. وتمثل هذه العملية بالدوائر المتحدة المركز الموجودة فى الشكل. وعندما تفرغ من تلك العملية للمجرة أ، حول اهتمامك إلى مجرة أخرى، مثل المعنونة ب، وكرر نفس الأداء. ولن تنتهى من هذه المهمة، حتى تعمل ذلك، لكل مجرة فى المجموعة .



الشكل 5.1

وعندما تنتهى المهمة (لا حاجة بنا للقول، بأنها تؤدى بواسطة الحاسوب)، يكون لديك، ما يطلق عليه علماء الرياضيات، وظيفة "الارتباط[1] الذاتى". إنها تخبرك عن مدى احتمالية وجود مجرتين، ضمن مسافة معينة، تحدد بعد كل منهما عن الأخرى. ومن هذه الاحتمالية يمكنك أن تفسر وتشرح أهمية خريطة المجرات كما يلى: إذا كانت الاحتمالية كبيرة بالنسبة للقيم الصغيرة لـ ر، فهذا يعنى أن المجرات - على الأرجح - تربض بالقرب من بعضها، ويكون هذا دليلاً على حدوث التجمع فى شكل عناقيد مجرية.

أما إذا لم تكن هناك قيمة معينة لـ ر، تكون لها احتمالية كبيرة وذات دلالة، أكثر من أى مجرة أخرى، يكون معنى ذلك أن المجرات سوف تتبعثر - بشكل أو آخر - عشوائيًا عبر الفضاء، ومن ثم لن تتكون العناقيد المجرية.

ويرسم بيانيًا (شكل ١-٥) (إلى اليمين) وظيفة الارتباط الذاتى، لمخطط (شين - ورتانن). ويوضح هذا الرسم بجلاء الآثار المترتبة على تكوين العناقيد المجرية، إنها الأكبر بالنسبة للقيم الصغيرة لـ ر. ما دام هذا الاختيار مستقلاً عن المدركات الحسية وقبل أن نستطرد فى البحث، يجب أن أشير إلى معركة كبرى اندلعت مؤخرًا، حول جانب آخر من مسح (شين - ورتانن) للمجرات. وكانت الناقدة الرئيسية هى (مارجريت جيلر) من مركز (هارفارد - سيمثونيان) للفيزياء الفلكية، وتركزت مجادلاتها على الحقيقة التى مفادها أنه عندما قام (شين) و(ورتانن) بإجراء مسحهما للمجرات، قسما السماء إلى مربعات ثم وزعا هذه المربعات، بحيث يقوم كل منهما بتفحص عدد منها. ووجهة نظر (مارجريت جيلر) تنحصر فى أنه إذا كان لدى أحد الباحثين معايير مختلفة عن الآخر، فيما يتعلق بتفسير وشرح الألواح الفوتوغرافية (فعلى سبيل المثال، قد

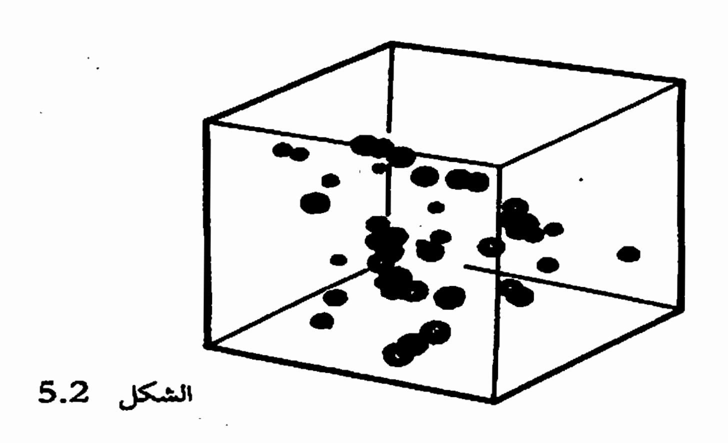
---

(١) قياس مدى تشابه متغيرين عشوائيين. (المترجم)

يتقبل أحدهما بقعة ضبابية معينة على أنها مجرة، بينما لا يتقبلها الباحث الآخر)، وسوف تكون النتيجة وجود نموذج من النقاط الفاتحة والداكنة فوق خريطة المجرات. ومثل هذا النموذج يمكنه بسهولة أن يظهر - على غير الحقيقة - أن بنية الكون خيطية.

وقد لجأ المدافعون عن خريطة المجرات، ومن أبرزهم (ب.ج.أ بيبلز)، إلى الرد على المعارضين بسلسلة من الحسابات المعقدة والتقنية إلى حد ما، ومن ثم بدا أن السؤال كله، غرق فى لجة من الإحصائيات والرياضيات التى لا يهتم بها سوى الخبراء، ولقد ذكرت الصراع فقط للتأكيد على مدى الصعوبة التى تكتنف التوصل إلى إجابة نهائية للسؤال، الذى يتعلق بالبنية الكونية ذات المقياس المروع، باستخدام التقنيات الفوتوغرافية العادية، لعلم الفلك التقليدى. ويجب الاحتفاظ بهذا الأمر جيداً فى ذهنك، حتى نقوم - فيما بعد فى هذا الفصل - بتقديم فكرة مسح "الإزاحة نحو الأحمر". وكما سوف نرى وشيكًا، فإن مثل تلك المسوحات، تزودنا بمقياس أكثر وثوقية، عن الطريقة التى تتجمع بها المجرات فى السماء. وثمة عدد كبير من مسوحات الإزاحة نحو الأحمر الرئيسية، أجريت منذ أواخر السبعينيات من القرن العشرين اكتشفت عشرات من بنى طويلة شبيهة بالأوتار، أطلق عليها "العناقيد المجرية الفائقة". وكان أكبر هذه الامتدادات، يمر عبر الكوكبتين (الجبار) و(الفرس الأعظم)، وهاتان الكوكبتان تتميزان بالجلاء والوضوح فى السماء ليلاً، خلال فصل الخريف وبداية فصل الشتاء. وهذا العنقود المجرى الفائق، هو أضخم بنية معروفة فى الكون. وفى الرسم بالشكل ٢-٥، نظهر مخططًا لهذا العنقود المجرى الفائق، معتمدين على نموذج أبدعه (دافيد باتوسكى)، عندما كان يعمل فى جامعة (أريزونا). ويتكون هذا النموذج من ثلاثة وأربعين عنقوداً مجرياً، تنتظم معًا على خيطين رفيعين ملفوفين ومتشعبين، ويحيط بهذين الخيطين ذاتهما، مساحات هائلة فارغة، وهى التى نطلق عليها "الفراغات".

والرأى عندى أن أكثر الأشياء إثارة فى (الشكل ٢-٥)، ليست البنية الدقيقة للعنقود المجرى الفائق، ولكن الحجم النحيل والرقيق له. إنه يمتد لمسافة تبلغ بليون سنة ضوئية عبر السماء. وهذا جزء يمكن تقديره وقياسه واستيعابه، من الحجم الكلى للكون، وحيث إننا قد وجدنا بالفعل بنى بهذه الضخامة المروعة، فإن الأمر يبدو لى، أنه تنبؤ قوى، بأن الكون متكتل وخيطى، حتى آخر الحدود التى يمكن أن تصل إليها أرصادنا. ولا أرى إلا أملاً ضئيلاً، بأن التجانس سوف يوجد فجأة، عند قياسات مروعة تزيد على بليون سنة ضوئية.



الشكل 5.2

وأتساءل: هل العنقود المجرى الفائق بكوكبه الجبار وكوكبه الفرس الأعظم، أضخم بنية فى الكون؟ بالتأكيد هو الأضخم حسب إمكانيات أرصادنا حتى الوقت الحاضر، ولكن على المرء أن يتذكر بأن كل المسوحات التى أجريت حتى الآن، قد اكتشفت أقل من واحد بالمائة من حجم الكون، فى نطاق بليون سنة ضوئية بعداً من كوكب الأرض، وبمعنى آخر، أقل من واحد بالمائة من حجم الكون الكلى الذى يمكن رصده، وسوف يكون من المذهل، أننا – فى حداثة مسوحاتنا المنهاجية للسماء – تعثرنا على الفور بأضخم بنية فى الكون، وحتى النجاح بالصدفة يجب أن تكون له حدود، وهذا يعنى أننا نتوقع إيجاد بنى كونية أضخم، مع تعمق وتوسع أبحاثنا المستقبلية.

الفراغات

الفراغات هى تماماً ما يوحى به اسمها: مناطق هائلة من الفضاء، حيث لا توجد مجرات على الإطلاق أو يوجد قدر ضئيل منها. والفراغات ذات أبعاد مروعة، تصل أحياناً إلى مائتين وخمسين مليون سنة ضوئية، عرضاً، وتحت الظروف العادية، يتوقع المرء أن يجد أكثر من عشرة آلاف مجرة تقريباً، فى مثل هذا الحجم. ومن ثم، فإن غياب هذه المجرات، أمر مثير للدهشة. وفى الواقع، فإن الدهشة الأكبر عن الفراغات، ليست فى كيفية وجودها، بل السؤال الذى يتبادر للذهن، عن كيف أن وجودها استطاع مراوغة المجتمع الفلكى حتى عام ١٩٨١، عندما أعلن عن اكتشاف أول فراغ، فى كوكبة "العواء"[١] (راعى الماشية).

والإجابة عن هذه الأحجية، لها علاقة بالحقيقة الأساسية عن الطريقة التى يرصد بها الكون. فعندما نلتقط صورة للسماء أثناء الليل، من خلال تليسكوب، فإن ما نراه مشهدا ذا بعدين، ويظهر كل نجم ومجرة مثل نقطة مضيئة فى الصورة، ناهيك عن بعدها. وكل ما يهم هو كمية الضوء التى تسقط فوق الصورة السلبية للفيلم[٢].

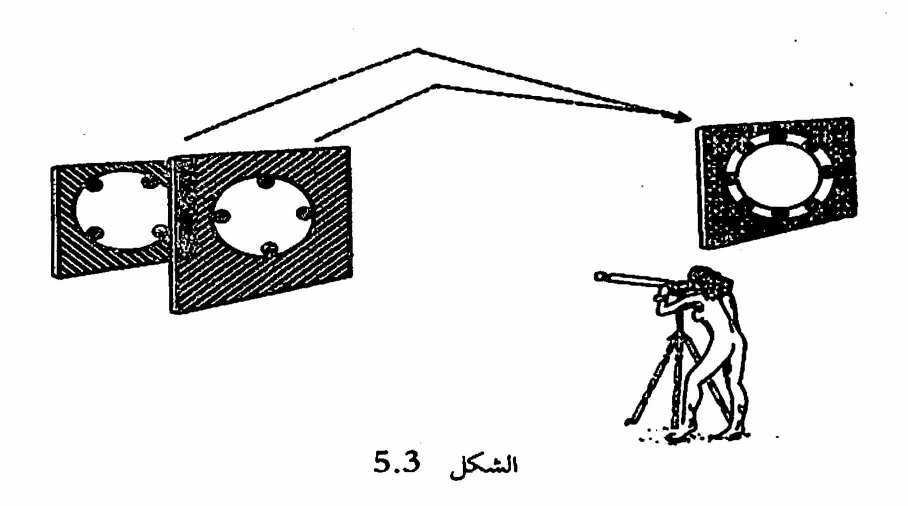
وسوف يمكنك أن تفهم بيسر، مدى أهمية الوصف ذى البعدين لأرصادنا، إذا أخذت بعين الاعتبار الموقف الموضح فى (الشكل ٣-٥). هب أن هناك مجموعتين من الأضواء فى مكان ما، على سطح الأرض، وتفصل بين هاتين المجموعتين مسافة تقدر بغدة ياردات[٣]. وافترض أنك تقف على مسافة ما، من تلك الأضواء ومعك كاميرا. فما الذى سوف تظهره الصورة الملتقطة؟

---

(١) كوكبة "العواء" فى نصف الكرة الشمالى على بعد نحو خمس وثلاثين سنة ضوئية من الأرض. (المترجم)

(٢) دعنى أضيف أنه على الرغم من استخدام مفردات ومصطلحات التصوير الضوئى، لكى أجعل الشرح أبسط فى تفهمه، إذ إن معظم أرصاد التليسكوبات الرئيسية فى هذه الأيام، لا تستخدم الصور الفوتوغرافية. وبدلاً من ذلك، فإنها تستخدم - منذ زمن طويل - منظومات إلكترونية شبيهة بكاميرات التلفاز. وهذا التباين التقنى، لا يغير من جوهر المنافسة. (المؤلف)

(٣) الياردة تساوى واحد وتسعين سنتيمترا. (المترجم)



الشكل 5.3

من الواضح، أنك سترى شيئًا يشبه ما هو مبين على يمين الصورة الإيضاحية. سوف يتداخل السطحان المستويان التى يشع عليهما الضوآن، ومن ثم سوف ترى عرضًا وحيدًا متسقًا، للضوئين فى الصورة. ولن تكون هناك أية إشارة – أيًا كانت – لوجود فجوة بين السطحين المستويين، فإن الكاميرا سوف توحدهما عندما تلتقط الصورة. والطريقة الوحيدة لاكتشاف مثل هذه الفجوة، بالحصول على بعض المعلومات عن البعد الثالث – أى المسافة بين مجموعتى الضوء والكاميرا – فى حالة الأضواء التى على سطح الأرض، فإن مثل هذه المعلومات قد يكون الحصول عليها صعبًا، بيد أنه فى حالة المجرات، فالأمر ليس كذلك.

فى الفصل الثانى، رأينا أنه فى تمدد للكون، كلما زاد بعد مجرة عنا، تزداد سرعة تراجعها، وتصبح الإزاحة نحو الأحمر – التى نتلقاها منها – أكبر.

وبالتالى، فإن ظاهرة "الإزاحة نحو الأحمر" تزودنا بوسيلة تمكننا من تقدير المسافة إلى المجرة، أى البعد الثالث فى مثال الأضواء. معنى ذلك أن هناك طريقة للحصول على صورة كاملة ثلاثية الأبعاد للكون بأسره، ومن ثم يمكننا تحديد – بشكل قاطع وحاسم – طبيعة البنية الكونية ذات القياس المروع.

ولسوء الحظ، فبينما أن ذلك الاستدلال صحيح من حيث المبدأ، فإنه من الناحية العملية، لا تكون الأمور بهذه البساطة الشديدة، ولكى نحصل على الصورة المألوفة للكون، ذات البعدين، كل ما نحتاج إليه أن نوجه تليسكوبًا إلى اتجاه معين، ومستحلبًا فوتوغرافيًا لإظهار الصورة. ومن ناحية أخرى، إذا أردنا الحصول على صورة ذات ثلاثة أبعاد، فإن علينا - بطريقة ما - أن نرصد كل واحدة من مئات (وحتى آلاف) المجرات، وذلك حتى نتوصل إلى تحديد دقيق لقيمة الإزاحة نحو الأحمر الخاصة بها، ثم نتبع ذلك بوضع كل ملاحظاتنا معًا، بمساعدة حاسوب. عندئذ فقط، يمكننا أن نحصل على الصورة النهائية. ويطلق على جمع البيانات بهذه الطريقة، مسح الإزاحة نحو الأحمر. وليس هذا عملاً بسيطًا ينجز فى وقت قصير. إنه يتطلب شهورًا وحتى سنوات من الجهد الشاق، يقوم به فريق من الخبراء المتخصصين والمتفانين فى العمل.

وعندئذ، كانت مفاجأتنا المبكرة، أن اكتشاف البنية الكونية ذات القياس المروع، باستخدام مسوحات الإزاحة نحو الأحمر - التى لم تتم حتى عام ١٩٨١ - كان غير مبرر، وهذه الحقيقة - فى واقع الأمر - لم تكن مثيرة للدهشة على الإطلاق. إن إجراء مسوحات الإزاحة نحو الأحمر، تتضمن عملاً شاقًا للغاية، خاصة أنها تجرى على الكون بأسره. وكان فريق الفلكيين من جامعة (ميتشجان)، الذى أعلن نتيجة مسح المجرات فى كوكبة (العواء) فضل تحقيق نتائج مذهلة لم يسبق لها مثيل، بإجراء مسح مفصل للغاية، لمنطقة صغيرة جدًا، بدلاً من خريطة شاملة للسماء كلها، وأسفر عملهم عن اكتشاف أكبر فراغ فى الكون.

ويقدر عرض "الفقاعة" فى كوكبة (العواء) بنحو مائتين وخمسين مليون سنة ضوئية، ويبدو أنها لا تشتمل على مجرات عادية من أى نوع. ربما كانت تحتوى على عدة مجرات قزمة، ولكن هذا لا يلقى اهتمامًا بين العلماء.

إن متوسط المسافة بين المجرات فى مكان آخر من الكون، تبلغ عدة ملايين من السنوات الضوئية، ومن ثم، فإن وجود عدد قليل للغاية من المجرات، فى مساحة بالفضاء بهذه الضخامة، أمر يثير الدهشة فعلاً.

وخلال الأعوام القليلة الماضية، بدأ الفلكيون فى الإشارة إلى الفراغات - بشكل غير رسمى - على أنها "فقاقيع (هابل)". إننى أحب هذا التعبير، إذ إنه يحتفظ بالروح الحرة لعلم الفلك الحديث، بالإضافة إلى تكريم الرجل الذى كان لعمله الفضل فى البدء بكل شىء (علم الرغم - لأكون أمينًا - غير واثق من أن هابل كان سيقدر شرفًا يمنح إليه بهذا الشكل).

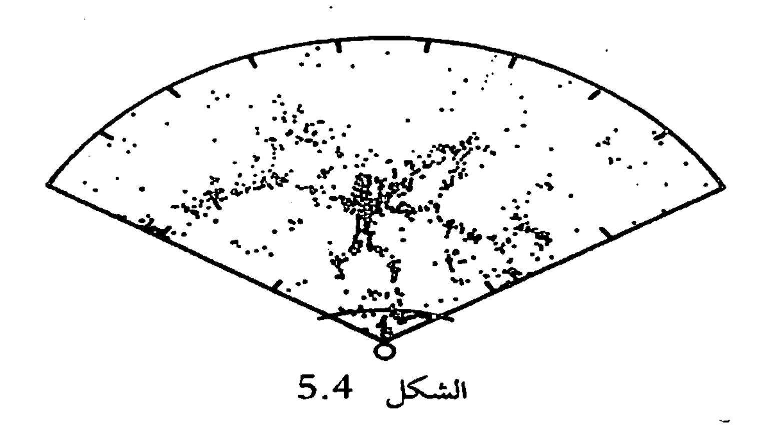
أحدث الإعلان عن فراغات كوكبة (العواء)، اهتياجًا فى الصحافة العلمية، ولكنه لم يؤثر بطريقة فعالة على الفلكيين، لأنه من صفات العلماء، الإدراك بأن العامة غير واعين تمامًا بالأمور العلمية، وعادة يستقبل العلماء المستحدثات دون حماس، إذ إن اكتشافًا مفردًا، يمكن دائمًا أن يكون رمية من غير رام ومجرد ضربة حظ. ومن ثم فإنه - عادة - يكون من الأفضل تجاهله، على الأقل حتى تثبت صحته بتجربة مستقلة.

وفيما يتعلق بالفراغ فى كوكبة (العواء)، فإن وجوده يمكن أن ينسب دائمًا إلى محض الصدفة. ومع ذلك، فإذا كانت المجرات تنتشر عشوائيًا فى الفضاء، فإنه يلزم وجود عدد قليل من المناطق الفارغة، تمامًا مثل وجود مساحات فارغة - أحيانًا - فى حشد كبير من الناس متجمعين فى ساعة أو مركز تسوق مفتوح. وأدركت ذلك عندما سمعت عن الفراغ فى كوكبة (العواء)، وقلت فى نفسى "يا إلهى، إن هذا أمر مثير"، واستمررت فى عملى. لقد قاسيت من قبل مرات عديدة، بالظواهر الطبيعية التى حدثت مرة أو مرتين، ثم لم يسمع عنها بعد ذلك قط. ولهذا لم أشأ أن أقع فى هذا الشرك من جديد.

بيد أنه فى خريف عام ١٩٨٥، حدث أمر جلل. إذ قام فريق من الفلكيين فى مركز (هارفارد - سميثسونيان) للفيزياء الفلكية فى كامبريدج بولاية ماساشوستس، بالإعلان عن نتيجة مسحهم للإزاحة نحو الأحمر. لقد حققوا إنجازًا متميزًا، فى اتجاه مخالف تمامًا عن فريق علماء ميتشجان، لكنهم توصلوا إلى نفس الاكتشاف، أن الكون كان مليئًا بالفقاقيع الهائلة. وبهذا الإعلان المثير، انضمت فقاقيع هابل إلى ثنايا علم

الكون. إنه يمكنك تجاهل واحدة من تلك الفقاقيع باعتبارها صدفة إحصائية محتملة، ولكن لا يمكن اعتبارها كلها محض صدفة أن مسحين للإزاحة نحو الأحمر فى أعماق الفضاء، وفى اتجاهات متباينة، استطاع كل منهما أن يكتشف فراغات، فكيف يحدث هذا، إذا كانت الفراغات بالفعل نادرة فى الكون.

لقد استمتعت بصفة خاصة، بحقيقة أن خريطة مسح كامبريدج، مصوغة فى الأنموذج المخطط فى (شكل ٤-٥). هل يمكنك أن ترى شخصاً داخله؟



الشكل 5.4

إن قليلاً من التشبيه بالإنسان، لا يسبب أى عيب على الإطلاق فى الخريطة، يقع كوكب الأرض عند الحافة المستدقة للوتد، وتزداد المسافة من الأرض، كلما تحركنا بعيداً عن الحافة، فى اتجاه الجزء الأوسع انتشاراً. وفى الواقع، فإن الوتد مجرد شريحة، فى قطاع من الكون، وكل نقطة فى المخطط، تمثل مجرة تم تحديد موقعها، باستخدام تقنيات الثلاثة أبعاد، والتى شرحت آنفًا. وخلال الفترة التى تلت نشر هذه النتيجة، أجرى عدد من مسوحات الإزاحة نحو الأحمر، ويبدو أن كلها أظهرت دليلاً على وجود الفراغات.

إن صـورة الكون التى تتكشف من هذه الدراسـات، تتسم بالإثارة والغـرابة. فالمجرات ليست متناثرة بانتظام عبر الكون، كما أنها أيضًا ليست مبعثرة بعشوائية. وبدلاً من ذلك، فإن مقطعًا عرضيًا للكون، يشبه ما تحصل عليه إذا قطعت كتلة من الإسفنج إلى شرائح. سوف تكون المادة الجامدة منتظمة فى ترابط مع شبكة خيطية، تتوزع مع فقاقيع ضخمة، حيث لا توجد مادة، أو يكون منها كمية ضئيلة للغاية. وكل محاولة تهدف لتفسير بنية الكون. يجب أن تجابه هذه الرؤية الجديدة، للطريقة التى تنتظم بها المادة فى الكون. وكيفية وصولها إلى تلك البقع؟

وفى الفصل السابق، ناقشنا بعض المشاكل التى يواجهها الباحث، أثناء محاولته تفسير الطريقة التى تتكتل بها المادة فى القياسات الضخمة. وأدى اكتشاف وجود الفراغات إلى أن تصبح المشكلة أكثر صعوبة. ثمة نوعان عامان من الإجابات، لهذه النوعية من الأسئلة: تلك التى تتعلق بالأحداث التى وقعت فى وقت متأخر للغاية من تاريخ الكون، وتلك التى تتضمن بقاء البنى التى تشكلت خلال الجزء الأول من الثانية بعد خلق الكون. وفى الأساس، فإن النوع الأول من الإجابات، سوف يقرر بأن المجرات قد تشكلت أولاً ثم أزيحت فيما بعد من بعض المناطق بالكون، تاركة وراءها الفقاقيع. أما النوع الثانى من الإجابات، سوف تعلن أن المجرات تشكلت على حدود الفراغات، حيث يمكننا رصدها، ولسبب ما لم تتشكل داخل الفراغات ذاتها.

وقبل أن نستطرد فى المناقشة، أود أن أطرح عدة تحذيرات. إن فقاقيع (هابل) موضوع رئيسى جديد للغاية (ومثير أيضًا) فى علم الكون. والآراء عنها تتطاير هنا وهناك فى جو مسبب للدوار ومزعج للفكر، مماثل لتخوم العلم. وهذا يعنى أن شخصًا ما سوف يفكر فى شىء ما، ربما يجد تفسيراً، ويقوم بنشره، ثم يأتى شخص آخر ليظهر بأن هذا الرأى له نتائج ليست فى الحسبان، والتى لا يمكنها التوافق مع الأرصاد. إذن لابد من إيجاد أفكار أخرى تتضمنها نظريات جديدة، وربما يكون هذا

أمرًا معتادًا، أما عندما يحدث هذا فى العلم، فإن بعض الناس يجدون أنه من الصعب تقبله. ويبدو أنهم يعتقدون بأنه ما أن تنشر النظرية، حتى تكتسب نوعًا من الحقيقة الخالدة. وفى واقع الأمر، فإن أى نظرية، ليست إلا تخمينًا مبنيًا على الحدس، عن الطريقة التى تتصرف بها الطبيعة، ولن يتقبلها العلماء، إلا إذا أمكن تطبيقها بعد أن تكون قد اختبرت بدقة. وكثير من الأفكار الهوجاء، التى صدمت الصحافة، سرعان ما ثبت فشلها، والناس بطبيعتهم يصيبهم أحيانًا قليل من الارتباك والحيرة، أين - على سبيل المثال - فكرة "الأكوان الموازية" التى نادى بها البعض فى الماضى[١]؟

وبينما أكتب هذا، أصبحت الآراء التى نوقشت لاحقًا، فى بؤرة اهتمام المجتمع الذى يضم علماء الكون، وفى الوقت الذى تقرأ فيه كلماتى، ربما يكونون قد عادوا لاعتناق نظرية الأكوان الموازية. ومن ثم، فعليك أن تعتبرها ليست أكثر من أمثلة للنظريات التى تم اختبارها. ومما لا ريب فيه، أنها لا تقدم الإجابات النهائية لمشكلة الفراغات والبنية ذات القياسات المروعة. ومن وجهة ما، فإنها ليست أمرًا يثير الدهشة البالغة، إذا علمنا أن الكون يشبه الجبن السويسرى[٢]. إنك لا تستطيع أن تكون كومة من التراب، دون أن تحفر حفرة فى الأرض، وقياسًا على هذا، إذا أردت الحصول على مناطق فى الكون، يمكن للمجرات فيها أن تتكتل فى شكل عنقود مجرى، فإن عليك أن تتوقع وجود مناطق ليس فيها إلا عدد قليل جدًا من المجرات.

وفى وقت سابق، اقترح فريق من علماء الفيزياء الكونية فى جامعة (برنستون) تفسيرًا فيزيائيًا معقولاً للغاية، عن الفراغات. وكان من رأيهم، أنه بعد أن تشكلت

---

(١) إن هذا ينطبق على فكرة انبثقت عن نظريات التوحيد العظمى فى بداية الثمانينيات من القرن العشرين، وعندما تمت إعادة النظر فى صيغ هذه النظريات، بدت كأنها تتنبأ بأن الكون يتشكل من رغوة من أكوان كاملة ذاتيا مثل كوننا. وللأسف - وبعد أن نشرت فى مجلة "تايم" الأمريكية ومنشورات أخرى - اندثرت ولم يعد لها وجود. (المؤلف)

(٢) نظرية تصور الكون على أنه مثل الجبن السويسرى، يمتلئ بالفراغات بجانب المادة. (المترجم)

المجرات، وقع انفجار مروع، ذو طبيعة معينة، فى منطقة من الفضاء. واختلفت وجهة نظر كل باحث عن الآخر، فيما يتعلق بالطبيعة الدقيقة للانفجار وكذلك الأسباب التى أدت إلى حدوثه. ومع ذلك، فبغض النظر عن مصدره، فإن الانفجار يمكن - بسهولة - أن يسبب موجة صدمية مروعة، تندفع عبر منطقة من الفضاء، وتدفع أمامها إلى الخارج، أى مادة كانت توجد فى المنطقة وتنتج ذلك النوع من جدران الفقاعة الموضحة فى (الشكل ٤-٥).

ولا شك أن هذه فكرة مثيرة للاهتمام، وهى بالتأكيد تزودنا بحل بديهى وقابل للتصديق عن المشكلة. وتبدو الفقاقيع بالفعل، مثل ما قد ينتج من سلسلة من الانفجارات فى وسط متناسق بشكل أو آخر. ولسوء الحظ، فإنه إذا وجدت آلية لإنتاج مثل هذه الانفجارات الهائلة، سوف يكون هناك تضارب مع قياس الإشعاع الكونى الخلفى للموجات الدقيقة (انظر الفصل الثالث).

إن انفجارًا مروعًا، يمكن اعتباره وقودًا مشتعلاً فى حد ذاته، ومن ثم، فإن علينا أن نتوقع رؤية الإشعاع ينبعث من الانفجار بعد أن يخمد، تمامًا كما نرى الإشعاع الكونى الخلفى للموجات الدقيقة، الذى نتج عن الانفجار الأعظم. وتدل الحسابات والإحصاءات، بأن أى انفجار يكون من القوة، بحيث ينتج فقاعة (هابل)، يكون قادرًا أيضًا على بث كمية كافية من الإشعاع، ليحرف الإشعاع الكونى الخلفى للموجات الدقيقة. ما دام مثل هذا الانحراف لم يرصد حتى الآن، فإن المناقشات مازالت مستمرة، ويمكننا أن نقرر أن الانفجارات لا يمكنها أن تحدث الفقاعات.

وعلى نقيض هذه المناقشة، يشير المدافعون عن فرضية الانفجار، إلى أن الفقاعة لا تحتاج أن تنتج كاملة مرة واحدة. إذ قد تنشأ من التحام العديد من الفقاعات الأصغر، مثل رغوة الصابون فى حمامك، أو فى قدح الجعة (أو الشمبانيا بالطبع)، أو البالونات التى تنفخها لأولادك. وإذا كانت هذه المناقشة سوف تظل معلقة حتى يتم التحقق منها بالرصد والمشاهدة، فإن فكرة الانفجار، مثال جيد، لتفسير وجود الفراغات، التى تعزو إلى حدث كونى ما، وقع بعد أن تشكلت المجرات بالفعل.

وعلى خلاف ذلك، تبدأ النظريات الأخرى من الأطروحة بأن الفراغات والعناقيد المجرية الفائقة، نشأت عن أحداث كونية نشطت منذ زمن طويل، قبل أن تتكتل المجرات من الغاز الأولى بالكون. وتفترض هذه النظريات بأن تركيزات الكتلة حول المواقع التى تشكلت فيها المجرات، لم تكن موزعة على نسق واحد، ولكنها أظهرت - منذ البداية - بنية الجبن السويسرى، التى نراها فى مسوحاتنا للسماء، ووفقًا لهذا الافتراض، تتشكل المجرات فى الوضع الطبيعى، حول حواف الفقاقيع، وسوف تستقر هناك.

وعلى سبيل المثال، ثمة نوع من النظريات التى تلقى قبولاً معينًا، تتضمن شيئًا يطلق عليه "وتر كونى" (انظر الفصل الثانى عشر). والوتر الكونى، يمتد طويلاً للغاية، وكثافة بنيته مروعة، وقد تشكل فى ١٠-٣٥ من الثانية بعد الانفجار الأعظم، ويمكنه - بسهولة - أن يكون مركزًا لتركز مادة المجرات. وإذا كان الكون يمتلئ بهذه الأوتار، فإن المجرات إذن، سوف تتشكل بمحاذاتها، مكونة من العناقيد المجرية الفائقة. وفى مثل هذا الأنموذج، سوف تكون الفراغات هى المسافات بين هذه الأوتار الكونية المجدولة. بيد أن هذا كله مجرد تأملات وتصورات ذهنية. إن الأمر الذى أصبح واضحًا، أن تفسير الفراغات والبنية ذات القياس المروع فى الكون، ستكون مهمة بالغة الصعوبة للباحثين فى علم الكون.

الفصل السادس

المادة المظلمة أقل مما تراه العين

"كل التجارب الحديثة تميل إلى دحض النظريات الأقدم".

(جول فيرن)

رواية "رحلة إلى مركز الأرض"

وهكذا لا نستطيع أن نفسر لماذا يتكتل الكون فى مجرات، كما لا يمكننا أيضًا أن نوضح لأى سبب توجد هذه المجرات فى فراغات وعناقيد مجرية فائقة. ويبدو أن آخر شيء سوف نحتاجه فى تلك المرحلة، هو لغز آخر. ومع هذا، فإن أى شخص مارس لعبة أحجية الصور المقطوعة، يعرف أن إضافة جزء إضافى من الصورة، يمكن من رؤية النموذج بكامله، وهذا النموذج يظل يراوغنا حتى يتوفر آخر جزء. إن اكتشاف ما أصبح يطلق عليه "المادة المظلمة" يؤدى نفس هذا الدور تمامًا، فى أحجية الكون.

إن السبب فى هذا الخضم من الأمور والظروف الغامضة الكونية، بسيط: إننا حتى هذه النقطة ناقشنا مشكلة تفسير الكون، فى ظل الافتراض الذى مفاده، أننا نتعامل فقط مع مادة مرئية. تلك المادة التى نراها عندما ننظر خلال تليسكوب بصرى،

أو على الأقل ندركها عن طريق الحواس خاصة الرؤية والسمع كما فى حالة التليسكوبات الراديوية والأجهزة الأخرى الحساسة لأطوال الموجات، خارج نطاق استجابات أعيننا. لو أن كثيراً من المادة فى الكون - كما - سوف نناقش لاحقًا - ليست فى هذه الحالة المألوفة لنا. من ثم، يجب إعادة النظر فى "المدى الزمنى" و"تشغيل البدايات".

وثمة اعتقاد بأن الصفات المميزة لهذه الأشكال الجديدة للمادة، ربما تختلف كثيراً عن خواص المادة التى نراها فى مختبراتنا، وربما تكون هذه الخواص غير المتوقعة، هى التى تخرجنا من بعض الطرق المسدودة التى صادفتنا. ومن الصعوبة بمكان أن نتقبل الاعتقاد أن هناك مادة لا يمكن أن نراها بذاتها، لكنها - مع ذلك - تؤثر على ما نراه. وحتى نتفهم هذه الفكرة، وأنه من المحتمل حدوثها يمكننا أن نبدأ بأن نتطلع إلى الأجرام الفضائية فى الجوار وأيضًا إلى مجرتنا "الطريق اللبنى".

الطريق اللبنى.. نموذج للمجرة الحلزونية

لا يمكن رؤية مجرتنا من الخارج، ولكن يمكننا مشاهدة عدد كاف من المجرات الأخرى، لنأخذ فكرة جيدة عن بنية مجرة الطريق اللبنى. إن ما يربو على نصف المجرات فى الكون لها نفس الشكل العام، الذى يتمثل فى لب مركزى براق وذراعين حلزونيتين (ولكن أحيانًا أكثر). والأذرع الحلزونية بالتأكيد، هى أكثر السمات البارزة لهذه المجرات، والرأى عندى، أنه إذا طلب من شخص عادى رسم صورة لإحدى المجرات الحلزونية، فإنه سوف يخط نموذجًا يشبه إلى حد كبير، ما هو موجود فى (الشكل ١-٦).



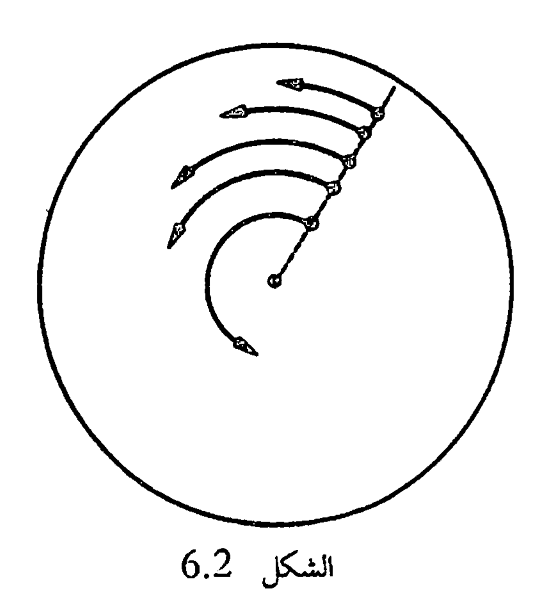
الشكل 6.1

ويخبرنا وجود الأذرع الحلزونية بشيئين مثيرين للاهتمام للغاية، عن المجرات.

أولهما: أنها تدور، وثانيهما: أنه ليس ضروريًا أن المواقع الأكثر تألقًا فى المجرات، هى التى تتجمع فيها معظم المادة.. وأن هذه المواقع التى تنبع من البنية الحلزونية، ليست واضحة على الفور، ومن ثم، فإننا سوف نقوم باستطراد طفيف لمناقشتها. إذا قلبت الحليب فى قهوتك، فإنك ترى عادة أشكالاً حلزونية مؤقتة فى فنجانك. ويرجع وجود هذه الحلزونيات فى الحليب، إلى ما يطلق عليه الفيزيائيون "الدوران التفاضلى"[١]. حيث يؤدى الاحتكاك إلى بطء حركة السائل عند حافة الفنجان، ثم يميل إلى السكون، بينما يتدفق السائل بحرية فى وسط الفنجان. وبالتالى، فإن سلسلة النقاط التى تكون خطًا مستقيمًا فى لحظة ما، سوف يحركها السائل لمسافات متباينة فى اللحظات التالية. وعندئذ، سيتحول الخط المستقيم بسرعة، إلى منحنى حلزونى. كما هو موضح فى (الشكل ٢-٦). إن هذا ما تراه فى فنجان قهوتك الصباحية، مما يغرينا بالقفز إلى الاستنتاج، بأن ثمة علاقة ما، بين ما تراه من منحنيات حلزونية فى قهوتك الصباحية وتلك الحلزونيات فى مجرة "الطريق اللبنى".

---

(١) ظاهرة فى المجرة، حيث تدور نجومها بمعدل أسرع بالقرب من المركز، عنه عند حافة المجرة، وكذلك تلاحظ فى الأجرام الفضائية الغازية (مثل كوكب المشترى)، حيث تدور بمعدل مختلف عند خط استوائها عنها عند قطبيها. (المترجم)



الشكل 6.2

بيد أنه لسوء الحظ، ثبت خطأ ذلك الاستنتاج، كما ستدرك إذا تأملت حقيقة بسيطة ثبتت صحتها بالرصد بواسطة التليسكوب. مفادها أن الشمس تقع – بالتقريب – على بعد ثلث المسافة من مركز مجرتنا. وعندما تدور المجرة، فإنها تحمل معها الشمس وكواكبها، بسرعة تبلغ حوالى مائتين وخمسين كيلو متراً فى الثانية الواحدة. وبهذا المعدل، يكون للشمس الفرصة أن تكمل تقريباً ستين دورة كاملة، منذ أن تشكلت مجرة "الطريق اللبنى". إذا كانت الأذرع الحلزونية – مثل الحليب الذى فى قهوتك – خطوط مستقيمة من مادة كثيفة التى انحرفت لتكون الشكل الحلزونى، بسبب تأثير الدوران التفاضيلى – حينئذ تكون قد التفت على بعضها منذ زمن موغل فى القدم ولم تعد موجودة.

وطبقًا للتفكير العقلانى الحديث، فإن الأذرع الحلزونية فى المجرات، تبرز إلى الخارج، لأنها مناطق توجد بها نجوم حديثة تحتدم فى لحظات ميلادها لتخرج إلى الوجود، ومن ثم، فإنها تكون أكثر بريقًا من الأجرام الفضائية المحيطة بها، ونحن نلاحظها لنفس السبب الذى نلاحظ به منطقة وسط مدينة ما، ونحن داخل طائرة فى

الجو، إذ إن كلا منهما يبعث بضوء أكثر، مما يحيط بهما. بيد أن هذا لا يعنى بالضرورة، أن المناطق الأكثر إضاءة فى المدينة، هى التى يسكنها أكبر عدد من السكان، كما أننا لا نستنتج من هذا، أن معظم المادة فى المجرات، تتركز فى الأذرع الحلزونية.

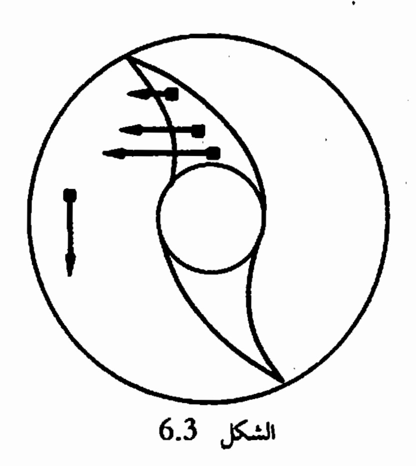
ووفق الحقيقة والواقع، فإن المادة فى المجرة، تنتشر منطقيًا على نسق واحد، خلال كل جزء من القرص الدائرى المسطح للمجرة. وأمكن للأذرع الحلزونية أن تستمر فى البقاء فقط لأنها متألقة، وليس لأنها تحتوى على مادة كثيفة أكثر. ويقودنا ذلك إلى واحد من أهم الأفكار التى سوف نطرحها للمناقشة فى هذا الكتاب، والفكرة مفادها أنه ليست ثمة أهمية لوجود علاقة، بين وجود المادة فى منطقة ما، وانبعاث ضوء أو أى إشعاع آخر من هذه المنطقة.

إذ إن هناك طرقا متعددة، يمكن للمادة أن تعلن بها عن وجودها، وتبعث بضوء (أو موجات راديوية أو أشعة سينية "إكس" وغيرهما)، الضوء مجرد واحد من تلك الإشعاعات، والحقيقة الواقعة الموجودة أن الشىء الوحيد الذى يجب أن تبذله كل مادة، هو ممارسة قوة تجاذبية. ومن ثم فإن الاختبار النهائى للتحقق من وجود المادة، ليس عما إذا كانت تشع ضوءًا، بل ما إذا كانت تجذب إليها المادة الأخرى.

منحنيات الدوران المجري والمادة المظلمة

فى الفصل الثانى، ناقشنا تأثير (دوبلر). ورأينا أن تردد الضوء المرئى، يمكن أن تغيره حركة المصدر. وبسبب وجود تأثير (دوبلر)، نستطيع أن ننظر إلى الضوء المنبعث من أجزاء متباينة من مجرة تدور، ونتبين كم هى سرعة تحرك هذه الأجزاء فى السطح المستوى لتلك المجرة، كما هو موضح فى (الشكل ٣-٦). والسرعات التى نحصل عليها بهذه الطريقة - عندما تخطط بيانيا على لوحة - تشكل ما نطلق عليه "منحنى الدوران المجرى".

وثمة أشكال متعددة ممكنة، يمكن أن يتخذها منحنى الدوران، ولكل منها شبيه في خبراتنا اليومية. فعلى سبيل المثال، عندما تركب لعبة "الدوارة"[١] سوف ترى أنك سوف تصاب بالدوار بشكل أشد بكثير، إذا كنت فى الحافة الخارجية، عما لو كنت فى الداخل. وهذا هو السبب فى أننا نجعل الصغار يبدأون بامتطاء الخيول الخشبية الداخلية، ثم يتخذون طريقهم إلى الخيول الخارجية كلما تقدموا فى السن، والسبب فى حدوث هذه الظاهرة بسيط: إن لعبة الدوارة عبارة عن قطعة صلبة، وعندما تدور، فإن الجزء الخارجي يجب أن يتحرك بسرعة أكبر، ليساير الجزء الداخلى. وهذا النوع من الحركة ينشئ منحنى دوران، مثل الموضح إلى اليسار فى (الشكل ٤-٦). وهو منحنى تزداد فيه السرعة كلما ابتعدنا عن المركز. وهذا يطلق عليه "عجلة التدفق"، فى لغة الفيزيائيين، وذلك لأسباب واضحة. ونتوقع أن نجدها، كلما كانت المادة مكدسة بإحكام معًا، كما هى الحال فى لعبة الدوارة.

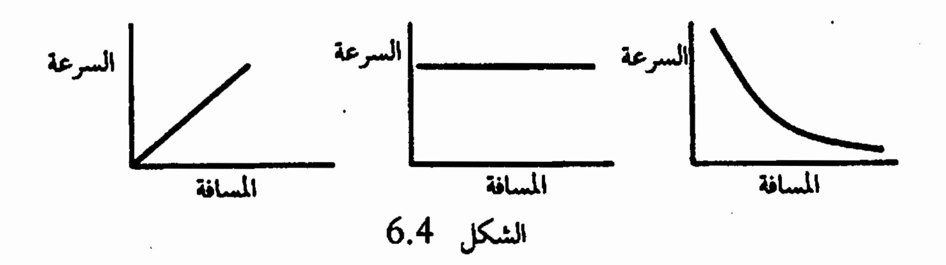


الشكل 6.3

ويمكنك أن تتصور نوعًا شائعًا آخر من التدفق، إذا فكرت فى مجموعة من العدائين داخل ملعب رياضى، كل واحد منهم فى أحد الممرات المحددة، التى تمتد من الداخل

(١) لعبة تتألف من منصة دائرة عليها خيول خشبية يجلس عليها الأفراد وتدور بهم، وهى توجد فى مدينة الملاهى. (المترجم)

إلى الخارج على سطح مضمار العدو. هب أن كل العدائين على درجة واحدة من المهارة، ومن ثم، سوف ينطلقون جميعًا بنفس السرعة، وإذا كان هناك منحنى فى مضمار العدو، عندئذ سوف يبدأ طابور العدائين فى الانحناء، وبالنسبة للعدائين الداخليين، فإنهم سوف ينطلقون فى خط مستقيم، ذلك أن عليهم اجتياز مسافة أقل. وإذا قمت بقياس منحنى الدوران للعدائين، سوف تحصل على شىء ما مثل الموضح فى وسط (الشكل ٤-٦). وسوف يعبر كل العدائين الخط التخيلى بنفس السرعة، ولهذا سوف يصبح المنحنى، خطًا أفقيًا مستقيمًا. (إن الحقيقة بأنهم اجتازوا الخط التخيلى فى أوقات متباينة. يعد خارجا عن الموضوع، ما دام الأمر يتعلق بجسيمات القياس هذه. إن كل ما يهم، هو كم السرعة التى يتحركون بها، عندما يجتازون هذا الخط التخيلى)، وسوف نطلق على هذا الموقف "تدفق السرعة الدائمة". وستحدث، متناغمة مع منحنى الدوران الأفقى المميز، وقتما تتحرك كل الأشياء بنفس السرعة. بغض النظر عن بعدهم من المركز. وتدفق السرعة الدائمة، يقود بالضرورة إلى الدوران التفاضلى - نفس الشىء الذى نراه في فنجان القهوة - ذلك أن النقاط الخارجية، الذى عليها أن تنطلق إلى مسافة أبعد، ملزمة بأن تتحرك بنفس سرعة النقاط الداخلية النظيرة لها.



الشكل 6.4

وبالإضافة إلى ذلك، إنه التأثير الذى نناقشه هنا، مسئول عن الحقيقة بأن العدائين يعطون تعاقب الترتيب، فى منافسات مضمار العدو. إن موازنة مواقع البداية، قد صممت لتعويض العدائين عن الاختلافات فى المسافات، المقاسة على طول داخل مضمار العدو وخارجه.

وثمة نوع ثالث من منحنيات الدوران، يمكن فهمه بالتفكير فى الكواكب فى المنظومة الشمسية. من المعروف جيداً أن طول "السنة" – الزمن اللازم لإتمام دورة واحدة – يتباين باختلاف الكواكب. ويتراوح بين ثمانية وثمانين يومًا لكوكب عطارد إلى نحو مائتين وخمسين عامًا لكوكب بلوتو[1]. وإلى حد ما، فإن هذا مرده إلى الحقيقة بأن الكواكب الخارجية تستغرق وقتًا أطول لإتمام دورة كاملة، بيد أن هذا مجرد جزء من القصة. وكذلك اتضح أنه كلما كانت المسافة بين الكوكب والشمس أطول، تحرك ببطء أكثر. ومنحنى الدوران لمنظومة مثل الكواكب، موضحة إلى اليمين فى (الشكل ٤-٦)[2].

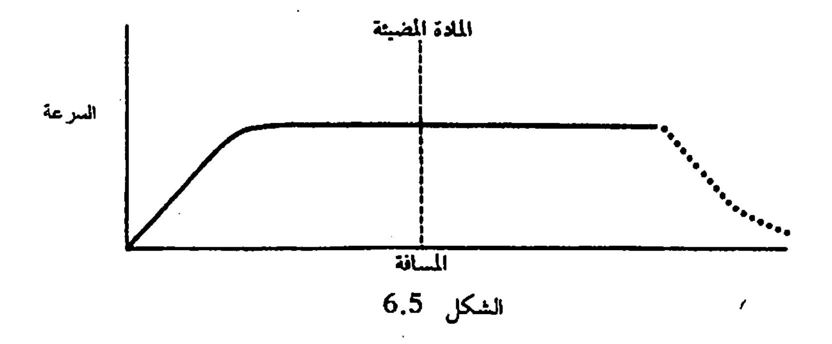
والمنحنى من هذا النوع يسمى "كبلرى" تيمنا بالفلكى الألمانى (يوهانس كبلر) (١٥٧١ – ١٦٣٠)، وهو الذى صاغ القوانين الصحيحة لمدارات الكواكب، ونتوقع أن نجد ذلك المنحنى، فى أى موقع، حيث توجد الكتلة التى تمارس قوة الجاذبية، فى مركز المنظومة، كما تفعل فى حالة الشمس والكواكب. ومن الأهمية، أن ندرك أن هذا المتطلب، لا يعنى ضرورة أن تكون الكتلة المركزية صغيرة الحجم. وبالتأكيد، فإن الشمس ليست جرمًا فضائيًا صغيراً. وتعد المنظومة الشمسية "كبلرية"، ذلك أن حجم الشمس صغير، مقارنة بالمسافات إلى الكواكب، وبنفس المفهوم، لو بعدنا كثيراً عن التركيزات الأساسية للكتلة فى المجرة، إلى الحد أن منحنى الدوران سوف يكون بالتأكيد "كبلريا". وتلك نقطة بالغة الأهمية، ومن ثم، دعنى أشرحها بالتفصيل فى عجالة. افترض – لمجرد تبادل وجهات النظر – أن كل المادة فى المجرة، كانت مركزة فى شكل كروى قطره مائة ألف سنة ضوئية، أى إنه يتطابق – بمعنى آخر – مع توزيع المادة المضيئة. عندئذ، إذا كان هناك بعض التوابع (شموس مثلاً أو حتى كواكب منفردة) تدور على بعد مائتى ألف أو ثلاثمائة ألف سنة ضوئية، فإننا نتوقع أن تكون منحنيات دورانها "كبرلرية". وكلما كانت هذه الأجرام الفضائية أكثر بعداً، فإنها يجب أن تتحرك أشد بطئًا.

---

(١) أصبح الآن مجرد كويكب وليس كوكبًا فى المجموعة الشمسية. (المترجم)

(٢) الشكل الرياضى للمنحنى يكون ٢/1. (المؤلف)

وموضح فى (شكل ٥-٦) منحنى دوران نموذجى مقاس، لإحدى المجرات. وفى اتجاه نواة المجرات، حيث تتكدس وتتماسك المادة، سوف نلاحظ أن السرعات تتصاعد، مع زيادة المسافة: أى تدفق العجلة. وكما ابتعدنا أكثر، اختفت مستويات الانحناء، ونرى أنفسنا فى منظومة يتحرك فيها كل شىء، تقريبًا بنفس السرعة، ومن ثم، يظهر نوع من الالتواء[١] الذى يصاحب الدوران التفاضلى. ويمتد هذا الجزء من المنحنى كثيرًا إلى ما بعد المائة ألف سنة ضوئية، وبالتالى، يصل إلى ما وراء تلك المنطقة، التى يمكننا أن نراها بالفعل، عندما ننظر إلى مجرة ما. وربما ينتابك العجب، وتتساءل كيف نستطيع أن نتعرف عن سلوك المادة، فيما وراء المنطقة المرئية؟ ومن الواضح، أنه ليس ثمة أى ضوء مرئى يصل إلينا مما قد يوجد بعيدًا هناك، بيد أن هذا لا يعنى عدم وجود أى إشعاع على الإطلاق. إذ توجد غيوم رفيعة ورقيقة من غاز الهيدروجين فى تلك المنطقة، ويبث هذا الغاز الموجات الراديوية، التى يمكن رصدها، بواسطة مستقبلات فوق كوكب الأرض. ونوع تحليل دوبلر الذى تم شرحه فيما سبق، للضوء المرئى يمكن إجراؤه على الموجات الراديوية، ومن ثم، يمكننا بالفعل التعرف على سرعة تحرك الهيدروجين.



الشكل 6.5

(١) الدوران الكامل لجسم ما حول محوره العمودى. (المترجم)

وإذا كان الغاز فى منطقة فضاء فارغة[1]، سوف يتخذ له مداراً حول المجرة، أنواع من التوابع الذرية. فى هذه الحالة، يجب أن نرى منحنى الدوران، وقد تحول إلى شكل كبلرى، ومن ناحية أخرى، إذا تدفق الغاز إلى الأمام بتأثير مادة غير مرئية – كحطام السفينة الطافى على سطح نهر صغير – عندئذ سوف يصبح منحنى الدوران للهيدروجين، مماثلاً لتلك المادة غير المرئية، المطمور فيها.

وكما ترى فى (الشكل ٥-٦)، يظل منحنى الدوران لمجرة نموذجية، مسطحاً تماماً خارج المنطقة، حيث يتم بث الضوء المرئى. وفى واقع الأمر، فلم يلاحظ قط تحول أى منحنى دوران مجرى، ليصبح كبلرياً، بل بقيت كلها مسطحة إلى مسافات تصل إلى مائتى ألف وثلاثمائة ألف سنة ضوئية، أكثر بعدة مرات من الجزء المرئى من المجرة. وهذا حقيقى بالنسبة للعديد من المجرات التى تم رصدها وقياسها. ومن ثم، فمن الأرجح – إلى حد بعيد – أنه حقيقى أيضاً بالنسبة لمجرة الطريق اللبنى.

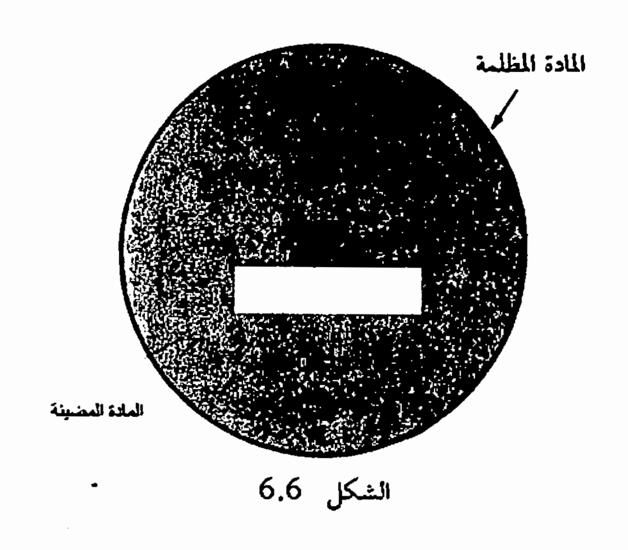
ونعلم أننا بمجرد وصولنا إلى نقطة، حيث نكون خارج معظم المادة فى المجرة، سوف يصبح منحنى الدوران كبلرياً، ويبدأ الزوال. والحقيقة أنه لم يلاحظ يفعل هذا، يعنى شيئًا واحداً: حتى على بعد مسافات مروعة من المركز، مسافات بعيدة تماماً عن تخوم المجرة المرئية. ثمة كميات هائلة من المادة. ربما لا نستطيع رؤيتها، بيد أننا نعرف أنها هناك، بسبب التأثيرات التجاذبية، التى تمارسها على منحنى الدوران.

وفى الواقع، فإنه يمكننا تقدير كمية المادة الإضافية فى مجرة الطريق اللبنى والمجرات الأخرى، عن طريق دراسة مدارات التوابع المجرية. كم قدر الكتلة التى يمكنها إنتاج منحنيات الدوران التى أمكن رصدها وملاحظتها؟ والإجابة هى أنه لابد من وجود – على الأقل – عشرة أمثال من المادة غير المرئية فى المجرات، عن المادة المرئية بها. وبمعنى آخر، فإنه على الأقل، تسعين بالمائة من المادة التى فى مجرة مثل مجرتنا، فى شكل لا يبعث بضوء مرئى أو أى إشعاع آخر، وأن أحداً لم تساوره

---

(١) فراغ يقع بين المجرات. (المترجم)

الشكوك فى وجودها، حتى السبعينيات من القرن العشرين. ومن ثم، كان من الملائم أن يطلق الفلكيون على هذه المادة "المادة المظلمة". وتنتشر تلك المادة المظلمة، خلال هالة كروية تحيط بالمناطق المرئية من المجرة (انظر الشكل ٦-٦).



الشكل 6.6

المادة المظلمة: بعض التعليقات الفلسفية

سوف نناقش فيما يلى النتائج التى ترتبت على وجود المادة المظلمة والفكر السائد فى الوقت الحاضر عن الشكل الذى يمكن أن تتخذه، وذلك طوال بقية الكتاب، ولكن أنها سوف تكون فكرة جيدة أن نتمهل قليلاً عند هذه النقطة، ونضع اكتشافها وفقًا لعلاقاتها الصحيحة وأهميتها النسبية. وللوهلة الأولى، ربما يبدو أن المادة المظلمة، ما هى إلا مجرد قطعة صغيرة إضافية، فى أحجية الصور المقطوعة، التى علينا أن نركبها، حتى نتمكن من فهم كوننا، وهى تتساوى فى الأهمية مع أجرام فضائية عديدة فى الكون. وسوف تكون هذه وجهة نظر معقولة، إذا كانت المادة المظلمة تشكل مجرد جزء صغير من الكون، وفى هذه الحالة، نستطيع أن نعتبر وجودها مثل حاشية، لما هو أكثر أهمية (وأكثر سهولة فى رصده) ألا وهى المادة المضيئة.

بيد أن وجهة النظر هذه قد عززت بانحيازنا المدرك، بأن ما يمكننا رؤيته يجب أن يكون أكثر أهمية، عما لا نستطيع رؤيته، ومن ثم، أصبح غامضًا ومثيرًا للاهتمام.

والواقع أن الشكل الغالب من المادة في الكون، ليس مضيئًا ولكنه مظلم. ولا نكون مبالغين إذا قلنا إنه أكثر من تسعين بالمائة من المادة في الكون مظلمة، وإن المادة المضيئة - والتي يمكننا رؤيتها بالفعل - لن تكون لها من الأهمية أكثر من حطام سفينة فوق سطح نهر صغير. ولعل الأذرع البراقة للمجرات تعمل - ببساطة - كعلامات سلبية، وشهود بكم، لقوى تعمل في مستوى غير مرئي لنا. ويبدو أننا كلما عرفنا المزيد عن كوننا، ندرك أن المعرفة التي حصلنا عليها بشق الأنفس عن الكون المرئي، هي أكثر قليلاً من خطوة أولى على الطريق، لفهم الأشياء على حقيقتها. ومعظم النظريات الحديثة التي تمت مناقشتها في الفصلين الحادي عشر والثاني عشر، كانت قد تبنت وجهة النظر هذه، ولكن إلى الآن اقتصر منحى التفكير الجديد هذا، على عدد محدود من الخبراء.

وفي الفصل الأول، رسمنا خريطة تتضمن تطور أفكارنا عن الكون، من علم الكون لدى الإغريق الذي كان ينص على مركزية كوكب الأرض، إلى كوبرنيكوس الذي كان ينادي بمركزية الشمس في الكون. ورأينا كيف أن خلع الأرض عن العرش، بإزاحتها عن مركز الكون، إلى القيام بدور، مثل أي كوكب آخر، كان له أبلغ الأثر في تدمير عالم القرون الوسطى الذي كان ينعم بالاستقرار والهدوء.

استمر خلع كوكب الأرض عن مقام السلطة والنفوذ، بالعمل الذي قام به شابلي وهابل. فقد أظهر (شابلي) أن الشمس لم تكن حتى في مركز مجرة الطريق اللبني، بل تربض في مكان ما. بالأذرع الحلزونية للمجرة. وعلى أثر ذلك، أظهر هابل أن مجرة الطريق اللبني ذاتها، كانت مجرد واحدة من عدد لا متناه من المجرات، في كون متمدد. وكما أصبح كون هابل مألوفًا في خلال الستين عامًا الماضية، فإن اكتشاف المادة المظلمة قادنا إلى تغيرات بعيدة الغور، في الطريقة التي ندركه بها. ولعل هذا الكون

المألوف بذاته، أكثر قليلاً من مجرد جزء ثانوى، من التشغيل النشط الحقيقى للأشياء. حتى إنه ربما يكون نوع المادة، التى تكونت منها منظومتنا الشمسية، كوكبنا وأجسامنا، هى فى حد ذاته جزء بسيط نسبيًا من الكون، الذى تشكل - بالكثرة الغالبة - من مادة مختلفة تمامًا. ومن الصعوبة تخيل نهاية أكثر كآبة من ملحمة كوبرنيكوس، خاصة إذا أردت أن تصدق فى قرارة نفسك، بأن كوكب الأرض وكل سكانه من البشر، يحتلون موقعًا متميزًا فى الكون.

العناقيد المجرية: المزيد من المادة المظلمة

تعد منحنيات الدوران، إحدى الدلالات المهمة، لوجود المادة المظلمة، ولكنها ليست الوحيدة فى هذا المجال. ثمة المزيد من المادة المظلمة هناك، أكثر من تلك الموجودة فى الهالات المجرية، وتلك حقيقة يمكن سبر غورها، بالتفكير فى العناقيد المجرية.

ومما يستأثر بالاهتمام، فيما يتعلق بالمادة المظلمة، أن هناك العديد من العناقيد المجرية، التى تشتمل على آلاف المجرات. وفى هذه العناقيد، تتحرك المجرات فى مسارات معقدة. وفى الواقع يمكنك أن تفكر فى العنقود المجرى، وكأنه يشبه نقطة ماء معلقة فى الفضاء. وكل من هذه المنظومات تتشكل من مكونات (مثل المجرات والجزيئات)، لها الحرية فى التحرك هنا وهناك. وبالإضافة إلى هذا، هناك قوة فى كل منظومة (الجاذبية إحداها والتوتر السطحى[1] أيضًا) وهى التى تمنع المكونات من التطاير.

فى حالة نقطة الماء المعلقة، نعرف بأننا إذا رفعنا درجة الحرارة، فإن سرعة الجزيئات سوف تزداد، حتى - فى نهاية الأمر - يمكنها أن تتغلب على قوى التوتر

---

(١) قوى التجاذب المؤثر فى الجزئيات الواقعة على سطح السائل، وتؤدى إلى وجود شبه غشاء رقيق، ومن ثم الخاصية الشعرية. (المترجم)

السطحى. وعندما يحدث هذا، نقول بأن نقطة الماء تغلى. وفى الواقع، يمكنك أن تتنبأ ما إذا كانت نقطة الماء سوف تغلى أم لا، وذلك بقياس سرعة تحرك الجزيئات الفردية.

وبنفس الطريقة تمامًا، يمكن للفلكيين قياس سرعات المجرات. فى عنقود مجرى قصى ويعرفون مدى قدرة تلك المجرات، على التغلب على قوة الجاذبية، التى يمارسها الأعضاء الآخرون بالعنقود. وبالطبع، فإن قوة الجاذبية، تعتمد على كمية المادة (المضيئة والمظلمة معًا) التى تكمن فى المجرات فى العنقود المجرى. وعندما يتم القيام بإجراء هذه الأنواع من القياسات للسرعات، تبرز حقيقة مذهلة من غير ريب، إذ يتضح أنه تقريبا فى كل حالة، تكون سرعات المجرات الفردية مرتفعة إلى الحد الذى يسمح لها بالهروب من العنقود المجرى، وفى الحقيقة، فإن العناقيد المجرية "تغلى"، وتكون تلك العبارة صحيحة يقينًا، إذا افترضنا أن قوة الجاذبية الوحيدة الموجودة، هى التى تمارسها المادة المضيئة، بيد أنها أيضًا حقيقة حتى لو افترضنا أن كل مجرة فى العنقود مثل مجرة الطريق اللبنى، محاطة بهالة من المادة المظلمة، التى تحتوى على تسعين بالمائة من مادة المجرة.

وثمة طريقتان محتملتان لشرح هذه النتيجة. أولها أن نأخذها بشكلها الظاهرى، ونقول بأن العنقود المجرى "يغلى"، أى يضطرب بالفعل، بيد أن هذا حدث فى الوقت الذى كنا ننظر إليه، أثناء قيام سلسلة من العمليات المروعة داخله. ويشبه هذا، مشاهدة نقطة من الماء فوق مقلاة معدنية ساخنة، قبل أن تتبخر تمامًا. سوف تكون هذه المجادلة تفسيرًا معقولاً للسرعات فى عدد قليل من العناقيد المجرية، ولكن عندما ترى نفس النموذج يتكرر فى كل مكان، سوف تبدأ التعجب.

ما احتمال أن نقوم بالرصد، فى الوقت الذى تكون فيه نصف مجرات الكون، مدمجة فى عناقيد بلغ من شدة ضعفها، أنها لا تستطيع أن تبقى متماسكة، ومن ثم كانت تضطرب بسلسلة من العمليات الكونية المروعة، التى تجعلها تتفكك وتتطاير؟

والبديل هو أن نفترض أن المجرات كانت دائمًا متجمعة فى عناقيد مجرية، كما هى فى الوقت الحاضر، وأن القوى التى تمسك بالعناقيد معًا، أكثر شدة مما نتوقعه

اعتماداً فقط على كمية المادة فى المجرات، والطريقة الوحيدة التى يمكن أن يحدث بها هذا، إذا كان هناك فيض من المادة المظلمة تفوق الهالات المجرية. ومثل تلك المادة يمكنها أن تختفى فى الفضاءات الفارغة، بين المجرات فى العنقود. إذا كانت هذه هى الحالة، فإن تلك المادة المظلمة الزائدة، سوف تمارس قوة تجاذبية مروعة، على المجرات، عندئذ سوف تحجز فى العنقود، على الرغم من سرعاتها الهائلة، هذا هو التفسير الحديث لتشكل العنقود المجرى، وهو مقبول فى الوقت الحاضر، من معظم الفلكيين.

ويبدو – عندئذ – أن المادة المظلمة برزت فى الكون، فى أكثر من مكان واحد به: فقد خرجت إلى حيز الوجود، حول المجرات الفردية، بيد أنها ظهرت أيضًا بين المجرات فى العناقيد المجرية، وفى لغة ومصطلحات علماء الكون، نقول إن المادة المظلمة تبدت على مستويات عديدة. وبالطبع سوف نجادل، بأن المادة المظلمة تكشفت على كل المستويات فى الكون، وأننا أينما وجهنا نظرنا لرؤية المادة المضيئة، لابد أن نتوقع أن نجد المادة المظلمة أيضاً.

وبالانتهاء من هذه النقطة، دعنا نتحول إلى السؤال: كيف أن وجود – ما أوضحناه من قبل – من نوع غير متوقع من المادة، يمكنه أن يتوصل إلى حل للمشاكل التى صادفتنا، فى محاولتنا سبر غور بنية الكون المروعة.

الفصل السابع

كيف يمكن للمادة المظلمة أن تجد حلاً لمشكلة بنية الكون

"والآن، علينا أن نتأمل تخمينًا فى زمن كانت فيه الهمهمات الزاحفة والظلمة المروعة التى تملأ هوة الكون السحيقة"

(وليام شكسبير)

مسرحية "هنرى الخامس" – الفصل الرابع – المشهد الأول

أدى اكتشاف المادة المظلمة إلى إماطة اللثام عن أننا لا نرى معظم مادة الكون. ومن البديهى فقط أن نسأل عن تأثير ذلك على مشكلة شرح البنية الرحبة للكون. وربما يبدو غريبًا أن يعلق علماء الكون آمالهم وتطلعاتهم حول فهم طبيعة الكون، على مثل هذه المادة الغامضة، وأعنى بها المادة المظلمة، بيد أن هذا هو ما يحدث تمامًا فى الوقت الحاضر.

وليس ذلك – ببساطة – حالة تعلق بآمال واهية، حيث ننتهز فرصة جهلنا بطبيعة المادة المظلمة، لنعزو لها، كل الخصائص التى نحتاجها لحل المشاكل التى نواجهها، وفى الحقيقة، سوف نرى أننا فى واقع الأمر، لسنا فى حاجة لمعرفة تفاصيل كيفية سلوك المادة، لكى نتعرف على الطريقة التى سوف نتمكن بها من إيجاد حل لمشكلة

تكوين المجرة. ومع الاعتراف بوجود المادة المظلمة فى الكون، يبدو أننا حصلنا على آخر قطعة كنا نحتاجها لنتمم بها أحجية الصور المقطوعة ونستكمل صورة الطريقة التى تطور بها الكون، ليصبح على وضعه الحالى.

والفكرة الرئيسية لدور المادة المظلمة فى الكون، من السهل إدراكها، كما رأينا، فإن الصعوبة الجوهرية فى تصور كيفية تطور الكون، لابد أن تكون لها علاقة ما، بالحقيقة التى مفادها أنه إذا كان الكون بأسره مكونًا من مادة عادية، لما أمكن للمجرة أن تبدأ التشكل إلا فى وقت متأخر إلى حد كبير، وذلك بعد أن برد الكون إلى الدرجة التى أمكن فيها للذرات أن توجد، وتسمح للإشعاع بفك الاقتران. وقتئذ، كان تمدد الكون قد أدى إلى نشر المادة على نحو رقيق للغاية، إلى الحد أن الجاذبية بمفردها لن تكون قوية بما يكفى لجذب كتل من المادة معًا، قبل أن تخرج الأمور عن السيطرة. وفى الفصل الرابع كونا صورة ذهنية. وناقشنا كل الطرق التى قد نفكر فيها، لنعطى العملية "دفعة البداية"، ولكن يبدو أنها تتناقض مع بعض الحقائق والأرصاد التى ثبتت صحتها.

وإذا قبلنا فكرة أن معظم الكون ليس فى صورة مادة مألوفة، فإن هذه الصعوبة المذكورة آنفًا، سوف تفقد بعضًا من قوتها، وعلى الرغم من أن ضغط الإشعاع الذى يتفاعل مع البروتونات والإلكترونات فى بلازما الكون الأولى، ربما يمنع تكتل المادة العادية، إلى ما بعد تكون الذرات، وليس ثم سبب على الإطلاق، يحول دون حدوث مثل هذا، للمادة المظلمة. افترض - لمجرد المناقشة - أن لدينا مرشحًا للمادة المظلمة، توقف عن التفاعل مع الإشعاع فى وقت مبكر للغاية، من حدوث الانفجار الأعظم، ولنقل مثلاً فى اللحظة الأولى، ويمكن أن يظهر هذا الموقف إلى الوجود، إذا كان التفاعل بين جسيمات المادة المظلمة مع الإشعاعات، اعتمد على الطاقة التى تنبعث عن الاصطدامات بينهما، ومن ثم تتضاءل قوتها، عندما تنخفض درجة الحرارة، عن مستوى معين. وفى مثل هذه الحالة، يمكن للمادة المظلمة أن تبدأ التجمع فى شكل كتل، تحت تأثير الجاذبية، قبل زمن طويل، من تكوين الذرات، ولن يمنع ضغط الإشعاع هذا النوع من التكتل، ذلك أن فرضنا مفاده أن الإشعاع لا يمكنه أن يمارس ضغطًا على المادة المظلمة، كما يفعل مع المادة العادية.

ولو حدث هذا، عندئذ عندما تتكون الذرات وتصبح المادة العادية حرة فى أن تبدأ التكتل، ستجد نفسها فى كون فيه تركيزات مروعة من الكتل، موجودة بالفعل، وسوف تكون أجزاء من المادة العادية منجذبة بقوة إلى الأماكن، التى تكدست فيها من قبل المادة المظلمة، وللتو سوف تتحرك بسرعة إلى هذه المواقع. وتشبه هذه العملية، صب ماء على سطح يمتلئ بالحفر العميقة، إذ سرعان ما يندفع الماء إلى هذه الحفر، وسرعة فيضان الماء لن يكون له - تقريبًا - أى علاقة بما تؤثر فيه أى كمية صغيرة من الماء على كمية أخرى، وهكذا تستمر المجادلة، فما إن تتحرر المادة العادية، من التقييدات التى فرضها عليها ضغط الإشعاع، فإنها سوف تسقط فى "الحفر" التى أوجدتها بالفعل المادة المظلمة، ومن ثم، فإن المجرات والبنى الكونية الأخرى، سوف تتشكل - بسرعة هائلة - بعد فك اقتران الإشعاع، وكل المجادلات حول "المدى الزمنى" الذى سبب لنا مشاكل وصعوبات عدة فى الفصل الرابع، سوف تصبح غير ذى علاقة بالموضوع.

وتكمن روعة هذه الفكرة فى أنها تأخذ مشكلتين - عدم كفاية المدى الزمنى لتشكيل المجرات ووجود المادة المظلمة - وتضعهما معًا، لتصل إلى حل للمشكلة المركزية العويصة التى تتعلق ببنية الكون.

ووفق افتراضنا، فإن المادة المظلمة لها مدى زمنى أطول من المادة العادية، لأنها فكت اقترانها فى وقت أبكر بعد الانفجار الأعظم. كما كان لديها وقت طويل للغاية، لكى تتكتل معًا، قبل أن تتجرر المادة العادية، وتفعل نفس الشيء. والحقيقة بأن المادة العادية - عندئذ - تسقط فى حفرة تجاذبية - كانت قد تكونت بهذه الطريقة، تساعدنا فى تفسير لماذا نجد المجرات محاطة بهذه الهالة من المادة المظلمة. إن هذا الافتراض يقتل عصفورين بحجر واحد.

بيد أننا لابد أن نأخذ فى اعتبارنا، بأنه عند هذه النقطة، لا نملك إلا فكرة ربما تحقق شيئًا ما، ولكنها لا ترقى إلى مرتبة النظرية الراسخة البنيان.

لكى نعبر الفجوة ما بين الفكرة والنظرية، علينا أن نجيب عن سؤالين مهمين ولكنهما معقدان (١) كيف يمكن للمادة المظلمة أن تسبر غور بنية الكون (٢) ما المادة المظلمة؟

المادة المظلمة الساخنة والباردة

يمكننا أن نبدأ بتفحص هذين السؤالين، بالتفكير مليًا حول الطريقة، التى باستطاعة المادة المظلمة أن تنفصل بها عن السحابة الساخنة المتمددة، من المادة التى شكلت الكون المبكر، وبالمثل مع مناقشة فك اقتران المادة العادية، بعد تكون الذرات كما أوضحنا فى الفصل الثالث، سوف نطلق على فصل المادة المظلمة "فك الاقتران" أيضًا، وتحويل مثل هذا، الذى يؤدى إلى تكوين الذرات، لا يحتاج إلى حدوث فك الاقتران كل ما يجب حدوثه، هو أن قوة التفاعل بين الجسيمات، التى تشكل المادة المظلمة، تنخفض تحت نقطة معينة، بحيث يكون بقية الكون قادرًا على ممارسة ضغط معقول عليها. بعد هذا، سوف تستمر المادة المظلمة فى طريقها، غير مكترثة لأى شىء آخر، يحدث حولها.

ويتضح أنه من وجهة نظر، خلق بنية الكون الذى رصدت بشكل علمى ومنظم، فإن أكثر الصفات المميزة أهمية، لعملية فك التقارن للمادة المظلمة، هو سرعة الجسيمات، عندما يتم تحريرها من كل قيودها، وإذا كان فك التقارن قد حدث فى وقت مبكر للغاية بعد الانفجار الأعظم، لجاءت المادة المظلمة بجسيماتها التى تتحرك بسرعة مذهلة، تقترب من سرعة الضوء. وإذا كان هذا ما حدث، نقول بأن المادة المظلمة ساخنة، أما إذا حدث فك التقارن، عندما كانت الجسيمات تتحرك ببطء - وتحديدا أقل من سرعة الضوء - نقول بأن المادة المظلمة باردة[١].

---

(١) لاحظ أن التعبيرين "ساخن" و"بارد" يعزوان إلى سرعة الجسيمات، عندما يفك اقترانها، وليس لدرجة حرارة الكون فى ذلك الوقت، ومن حيث المبدأ، يمكن لجسيم خفيف أن يكون (ساخنا)، حتى لو جاء متأخرا بعد الانفجار الأعظم، بينما قد يكون الجسيم الثقيل (باردا) حتى لو جاء مبكرا بعد الانفجار الأعظم. (المؤلف)

من بين أنواع المادة المظلمة التى يضعها علماء الكون فى اعتبارهم، "النيوترينوات" (انظر الفصل العاشر)، التى تعد أفضل مثال للمادة المظلمة، وكل الجسيمات التى سوف نناقشها فى الفصل التاسع، باردة، ونوع من المادة المظلمة - الأوتار الكونية التى سوف تتم مناقشتها فى الفصل الثانى عشر - لا ينطبق على هذا النظام من التصنيف، لأنها لا تتكون من جسيمات على الإطلاق. وفى بقية هذا الفصل سوف نبحث فى كيفية عمل المادة المظلمة الساخنة والباردة، فى كون يتمدد، على أن نرجئ التساؤل عن ماهية المادة المظلمة إلى ما بعد.

واتضح أن المادة المظلمة الساخنة، إذا كانت تعمل بمفردها، فهى بالتأكيد لا يمكنها تفسير ما نلاحظه فى الكون، وأنه لابد من تعديل على نطاق واسع لسيناريو المادة المظلمة الباردة، إذا ما أريد أن يبقى كمرشح للنظرية النهائية، إنها تلك الظروف والعوامل غير الكافية ولا المقبولة، التى سادت فى وقت معين، بالإضافة إلى الريبة فى نوع الجسيمات، سوف تكون المادة المظلمة الباردة، والتى أدت - فى نهاية الأمر - إلى دفع العلماء النظريين إلى التفكير مليًا فى الأوتار الكونية.

التدفق الحر وانقضاء المادة المظلمة الساخنة

عندما يتحدث علماء الكون عن المادة المظلمة الساخنة، يكون ما يشغل بالهم (كما رأينا توًا) جسيم يسمى "النيوترينو". وسوف تشغلنا صفاته المميزة بشكل أكثر تفصيلاً، كلما تقدمنا فى البحث. وللحظة الراهنة سوف نلاحظ ببساطة أن "النيوترينو" جسيم ينبعث أثناء التفاعلات النووية، وبالتالى، يمكن رؤيته فى مختبراتنا حاليًا. وكتلة النيوترينو، إما أن تكون صفرًا أو ضئيلة للغاية، وعادة تنطلق النيوترينوات بسرعة الضوء أو قريبا منها.

والفكر السائد فى الوقت الحاضر بهذا الصدد، أنه عندما كان عمر الكون ثانية واحدة، لم تكن جسيمات النيوترينوات تتفاعل - بدرجة كافية - مع المادة العادية،

بحيث تتأثر بضغط الإشعاع. ومن ذلك الحين، زادت كمية النيوترينوات وبردت ذاتيًا، مكونة صورة مرآتية لإشعاع الموجات الدقيقة الكونى.

وإحدى طرق التفكير حول العملية التى أدت إلى فك تقارن النيوترينوات، مفادها أنها تحدث عندما يندفع النيوترينو خلال المادة، دون التفاعل معها. وثمة عاملان يؤثران على هذا الاحتمال المرجح: كثافة المادة (الذى يخبرنا عن عدد المرات التى تقترب فيها النيوترينوات من الجسيمات الأخرى)، ومدى احتمالية اقتراب نيوترينو من جسيم آخر، والتفاعل معه. وبعد أن أصبح عمر الكون ثانية واحدة، كانت هذه الاحتمالية الموحدة، منخفضة إلى الحد، أننا نقول إن النيوترينوات. قد فك تقارنها.

ولنفترض جدلاً أن نفس هذه العملية قد حدثت لأى نوع من المادة المظلمة الساخنة.

ولنكمل القصة، بينما كانت سحابة النيوترينو تتمدد، تحركت خلال مناطق من الكثافة العادية، دون وقوع الكثير من التفاعلات. بيد أنها لو صادفت منطقة من الكثافة العالية - التى أطلقت عليها من قبل تركيز كتلة - فإنها سوف تتفاعل وتمزق التركيز إربًا. سوف يحدث هذا، لأن الاحتمالية الأولى التى ذكرت آنفًا، والتى تتعلق بمصادفة جسيم آخر، سوف تكون أكبر فى حالة تركيز الكتلة، من أى مكان غير ذلك. وعلى حد قول الفلكى (جاك بيرنز) من ولاية أريزونا، أن هذا سوف يؤدى إلى تفكك تركيزات الكتلة "مثل قذيفة مدفع، منطلقة بسرعة عالية، ويكون بمقدورها تدمير جدار غير محكم البناء، دون أن يبطئ هذا التصادم من سرعتها بدرجة كافية". وسوف تستمر هذه العملية إلى أن يبرد التمدد سحابة النيوترينوات إلى الحد الذى تتحرك فيه النيوترينوات بسرعات منخفضة، تصل - مثلاً - إلى أقل من عُشر سرعة الضوء. وعند هذا المستوى من الطاقة لا تعد النيوترينوات قادرة على ممارسة ضغط، حتى على التركيزات بالغة الكثافة، وسوف تتوقف عن تأدية أى دور فى الانهيار التجاذبى. وما بين الوقت من فك التقارن وخفض السرعة، يقال إن النيوترينوات فى حالة "تدفق حر".

عندئذ، يمكن للنيوترينوات الثقيلة أن تفكك تركيزات الكتلة، لوقت ما بعد فك التقارن، وبينما يحدث هذا، لا تستطيع النيوترينوات أن ترتحل أكثر من مسافة محدودة، هى بالتأكيد لا تزيد على سرعة الضوء فى نفس المدى الزمنى. وبمعنى آخر، إذا بدأ النيوترينو مساره فى تركيز مادة ضخم للغاية، فإنه لن يستطيع أن يتخلله بالكامل فى الوقت المتاح. بيد أنه إذا بدأ فى تركيز صغير، سيتمكن من اختراقه تماماً، ويؤدى دوراً مثل قذيفة المدفع فى الجدار غير محكم البناء. وتكون النتيجة أن التدفق الحر للنيوترينوات سوف يفكك التركيزات الكتلية الصغيرة، بيد أنه سوف يترك التركيزات الضخمة - إلى حد ما - لا تمس.

ومثل هذا التقويض الانتقائى لتركيزات معينة فى الكون المبكر، الذى حدث قبل زمن طويل من فك تقارن الإشعاع وبدء الانهيار التجاذبى بشكل عظيم الشأن، كان يعنى بالتأكيد أن النيوترينوات قد دمرت كل نواة محيطة بها، وهى التى يمكن أن تتكثف لتشكل مجرات حجمها أقل من حد معين. وبمقدورنا تقدير هذا الحجم. إذ يمكن التوصل إليه بحساب المسافة التى ارتحلتها النيوترينوات خلال تدفقها الحر. واتضح أنها ذات كميات مروعة، تقريباً فى حجم العناقيد المجرية الفائقة. ومن ثم، فعندما بدأ الانهيار التجاذبى، كانت مراكز لكتلة - الأصغر والأسرع نمواً - فى حجم العناقيد المجرية الفائقة.

عندئذ، فإن وجود التدفق الحر للنيوترينوات، يخبرنا أن نظريات المادة المظلمة الساخنة، يجب أن تتنبأ بتتابع هذه الأحداث التالية:

أولاً، أن المادة المظلمة الساخنة عليها أن تجمع المادة العادية فى كتل فى حجم العناقيد المجرية الفائقة، وحينئذ، فإن هذه الكتل الهائلة تتفكك إلى كتل فى حجم العناقيد المجرية، ثم تتفكك تلك الكتل بالتالى إلى كتل أصغر فى حجم المجرات. وهذا النظام من التركيب المنظم لأجزاء مترابطة، يطلق عليه عادة سيناريو "من أعلى إلى أسفل"، لتشكيل بنية فى الكون وليس ثمة غموض فى إمكان حدوث تفكيك للعناقيد المجرية الفائقة إلى مجرات: وكما رأينا فى الفصل الرابع، فإن التأثيرات العادية

للجاذبية، كافية لتفكيك أى نسق من المادة المنتشرة فى أرجاء الكون، وتحويلها إلى كتل صغيرة خفيفة لا شكل لها، وتكمن المشكلة فى المدى الزمنى التى تجرى فيه هذه الأحداث، فالمادة المظلمة الساخنة تتنبأ بكون، تكون فيه عناقيد المجرات قديمة العهد، إلا أن المجرات ذاتها تكون فى بداية مراحل التطور والنمو. وهذا عكس ما نلاحظه تمامًا. وعلى سبيل المثال، فإن مجرتنا "الطريق اللبنى" تحتوى على نجوم عمرها أربعة عشر بليون سنة على الأقل، أى بالتقريب مثل عمر الكون. وبمعنى آخر، ثمة نجوم فى مجرة "الطريق اللبنى"، تشكلت فى وقت سابق على نماذج المادة المظلمة الساخنة، التى تقترح كيفية تشكيل مجرة "الطريق اللبنى" ذاتها[١].

وثمة صعوبات أخرى تواجهنا إذا اعتبرنا أن النيوترينو الثقيل، أحد المرشحين كمصدر للمادة المظلمة، وسوف نناقش البعض من هذه الصعوبات فى الفصل التاسع، أما فى الوقت الراهن، فسوف نتفحص بشكل دقيق، الحقيقة بأن المادة المظلمة تتضمن مثل هذه المسافات الطويلة من التدفق الحر (وبالتالى تلك البنى الأولية الهائلة فى الكون)، والتى تخلى عنها معظم علماء الكون.

المادة المظلمة الباردة والتحيز

تتفادى المادة المظلمة الباردة هذه الصعوبة: بأن تتحرك الجسيمات بغاية البطء، عندما يفك اقترانها، حتى إنه لا يمكنها أن ترتحل بعيدًا خلال مرحلة التدفق الحر، وبناء على هذا، حتى تركيزات المادة الصغيرة، يمكنها أن تبقى على قيد الحياة، ومن ثم، يكون لدينا موقف مفاده أن المجموعات الصغيرة من المادة، تتجمع معًا فى بادئ الأمر، وهذه المتكدسات الصغيرة، تتجمع لتشكل ما نلاحظه من بنية كونية على مستوى هائل، وهذا ما يطلق عليه تصور "من أسفل إلى أعلى" لتشكيل الكون.

---

(١) لمناقشة كيفية تحديد أعمار أجرام فضائية كالنجوم والأكوان، ارجع إلى كتابى "تأملات على ارتفاع عشرة آلاف قدم" Meditations at 10.000 Feet. (المؤلف)

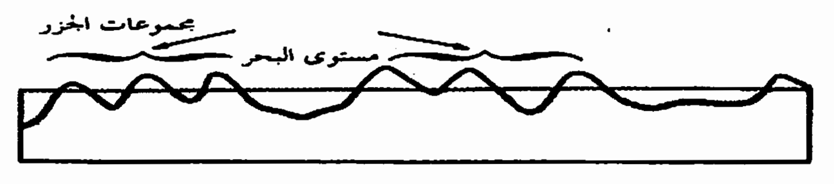
وإلى جانب ذلك، فإن نتائج الإحصائيات والحسابات والتقديرات التى تمت على نماذج المادة المظلمة الباردة، أظهرت أن كل نموذج يقدم عدداً من النجاحات الأخرى. إنه يتنبأ - على سبيل المثال - أن المجرات تتشكل على مستوى كتلى مقيد إلى حد ما. وأوضحت هذه الإحصائيات والحسابات والتقديرات، أن المادة المظلمة يجب أن تنشئ مجرات يبلغ حجمها من نحو واحد على ألف إلى حوالى واحد على عشرة آلاف مرة، من حجم مجرة "الطريق اللبنى"، لا أكبر، ولا أصغر، وفى الواقع، فإن معظم المجرات المعروفة لها كتل فى حدود هذا المدى تقريباً، وقد سبب هذا التنظيم - دائماً - حيرة كأداء للفلكيين. لأن تلك الحقيقة (بالتناغم مع تفاصيل عديدة أخرى من منظومة تصنيف المجرات) يمكن تفسيره بسهولة، بافتراض المادة المظلمة الباردة. مما يعد انتصاراً باهراً فى علم الكون.

ولكن لسوء الحظ، فإن نتائج مسوح الإزاحة نحو الأحمر، واكتشاف الفراغات والفتائل، شكلت اعتراضات خطيرة للمادة المظلمة الباردة، باعتبارها المكون الرئيسى لبنية الكون، حتى إن (مارك ديفيذ) من جامعة كاليفورنيا فى بيركلى، وهو واحد من أشد المؤيدين لنظرية المادة المظلمة الباردة، كتب فى أحد مصنفاته "لا يمكن قبول نموذج المادة المظلمة الباردة الآن، لأنها لا يمكن أن تنتج فراغات هائلة مثل تلك التى اكتشفت فى كوكبة (العواء)، وتكمن المشكلة فى أن المسافة الصغيرة لتدفق المادة المظلمة الباردة، تعنى أن الكون لابد أن يكون قد تشكل من أجرام فضائية صغيرة فى حجم المجرة، ومن الصعوبة رؤية كيف أن التجمعات العشوائية للأجرام الفضائية الصغيرة، يمكن أن تشتمل على فراغات هائلة، من النوع الذى وجده المراقبون.

بيد أن الأفكار البارعة لا تفنى بسهولة، بدأ (ديفيذ) ومعاونوه فى بيركلى، فى التفكير بعمق، حول العلاقة بين المادة المظلمة والمضيئة. وأدركوا أنه عندما فك التقارن، أصبحت المادة المضيئة تميل إلى الانجذاب إلى أكبر تركيزات المادة المظلمة المحيطة بها، أى إن المادة المضيئة لن تتشتت على نسق واحد فى الفضاء، بل تميل إلى التجمع حيث كانت كميات مروعة من المادة المظلمة، قد وجدت بالفعل. وإذا تطلعنا إلى الكون، فلن نشاهد المناطق التى توجد فيها كل المادة المظلمة، ولكن فقط تلك المواقع التى

جذبت فيها كمية كافية من المادة المضيئة، لتشكل مجرة أو عنقوداً مجرياً، وبلغة العصر، فإن نظرتنا إلى الكون بالضرورة تكون "منحازة"، ذلك أننا نرى المادة المضيئة لا غير. وجادلت مجموعة بيركلى، أنه من الممكن واقعاً، أن تكون المادة المظلمة منتشرة بشكل أكثر اتساقاً، من المادة المضيئة، ومن ثم، فإن الفراغات الهائلة التى نراها، ربما تحتوى بالفعل على مادة مظلمة داخلها.

ولعلنا بعقد مقارنة مبنية على التشابه الجزئى، سوف يساعدنا على إيضاح وجهة النظر هذه المتحيزة عن الكون، والتى تستلزم وجود المادة المظلمة الباردة، كأساس لها، تعلم أن قاع المحيط يزخر بالتلال الصغيرة والجبال. هب أن تلك التضاريس من المرتفعات، تنتشر باتجاهات مختلفة، أكثر أو أقل اتساقاً على قاع المحيط، وأن قاع المحيط يتميز بوجود تموجات من الارتفاعات والانخفاضات الرقيقة والمنتظمة، كما يظهر فى (الشكل ١-٧).



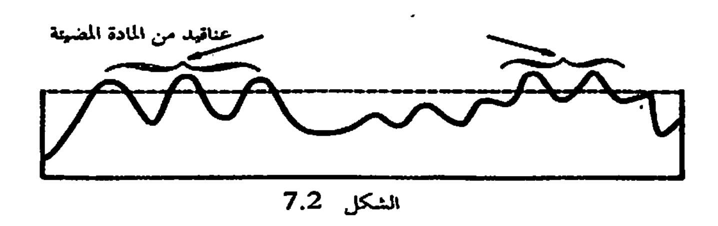
الشكل 7.1

وإذا كان بمقدورك رؤية قاع المحيط بالكامل، فسوف تقول إن المادة فيه موزعة - بشكل أو آخر - عشوائياً، ولن تكون هناك إشارات من ذلك الشيء الذى أطلقنا عليه البنى ذات المدى الواسع، ومع هذا، فلنفترض جدلاً، بأنك لا تستطيع سوى رؤية الأرض التى تقع أعلى مستوى المحيط، ومن ثم، كما هو موضح، سوف ترى مياه المحيط "تتفكك" بواسطة سلسلة من الجزر، بيد أن هذه الجزر، سوف تميل إلى التجمع على شكل عنقود فى المواقع التى توجد فيها الأجزاء العالية من تموجات المرتفعات والانخفاضات الرقيقة المنتظمة[١] وإذا نظرت إلى الجزر فحسب، يمكنك الاستنتاج بأن

(١) فى الواقع أن هذه هى الطريقة التى تشكلت بها جزر هاواى، من براكين أعماق المياه. (المؤلف)

التلال تحت سطح المحيط، توجد فى عناقيد، وأن بنية القاع عبارة عن مناطق تركيز شديد من التلال التى تتوزع مع فراغات ضخمة. وتلك الفراغات يمكن رؤيتها كامتدادات هائلة من المياه المنبسطة، دون أى جزر.

وبنفس هذه الطريقة تمامًا - كما يجادل الباحثون - لا تتبع الفراغات والفتائل التى نراها فى السماء، ذلك التوزيع الحقيقى للمادة فى الكون، وإنما فقط القمم والنقاط العالية. وأعملوا هذه الفكرة لكى تصاغ بالطريقة التالية. قاموا أولاً بحساب التوزيع الذى توقعوا أن توجد به المادة المظلمة الباردة، وحصلوا على نموذج قريب مما هو موضح فى (الشكل ٢-٧) . ثم أخذوا فقط قمم ذلك التوزيع - إنها تلك الأجزاء التى تعلو الخط المنقط - وقالوا بأن هذه هى المواقع التى نرى فيها المادة المضيئة التى تجمعت فى شكل مجرات.



الشكل 7.2

واستخدم (ديفيز) وزملاؤه نفس هذه الفكرة، لوضع مخطط بيانى لتوزيعات المجرات، يشبه إلى حد كبير، ما يرصد بالفعل فى السماء، وسواء كان ذلك قد قيل عنه إنه وجد حلاً لمشكلة بنية الكون، فهذا أمر آخر. وهذا النموذج الذى استند على فكرة التحيز، مازال يتعرض للانتقادات، حيث لم يفسر وجود فراغات هائلة ذات جوانب حادة. على الرغم من أن اكتشاف مجرات صغيرة فى فراغ كوكبة (العواء)، كان هبة من السماء للباحثين، ذلك أنه أعفاهم من الحاجة إلى إخراج "كل" المادة المضيئة من الفراغات التى اكتشفوها، والرأى عندى أنه - فى الوقت الحاضر - لا يمكن استبعاد المادة المظلمة الباردة بما تتضمنه من تحيز، كتفسير لمشكلة بنية الكون.

ومازال المؤيدون لها، يبذلون الجهد والكثير من الوقت، لتفادى الانتقادات الحادة، وهم يقومون بمحاولة "ترقيع" التصدعات فى النظرية، وسوف تنتابنى الدهشة، إذا كانت سوف تعطينا القول الفصل لمشاكلنا، وعلق (مارك ديفيز) بنفسه، فى اجتماع عقد مؤخراً. بقوله "أعتقد أن هذا ليس حلاً نهائيًا". ومع هذا، تظل أحد أفضل البراهين، لتفسير ما اكتشفناه فى السماء.

وماذا الآن؟

يبدو إذن، أن المادة المظلمة تؤدى دوراً مهمًا، فى تشكيل بنية على مستوى هائل فى الكون، ذلك أنه يمكنها أن تفك اقترانها فى وقت مبكر، وتكون تركيزات كتلية، تقوم المادة المضيئة بالانجذاب إليها لاحقًا. إذا صح ذلك، عندئذ سوف تثار بعض التساؤلات الواضحة. أولها - الذى سوف نعالجه فى الفصل التالى - هو كم من المادة المظلمة يربض فى الكون. والثانى، وقد أشرنا إليه آنفًا، هو التساؤل عن طبيعة المادة المظلمة.

ويبدو واضحًا أن كل ما نحتاج إليه. لننتج كونًا ببنية ذات مستوى مروع - وجود مادة مكونة من جسيمات ثقيلة (حتى تتمكن من ممارسة قوة تجاذبية)، تتحرك ببطء، عندما يفك اقترانها. وبغض النظر عن هذه المتطلبات "المتواضعة"، فإن علم الكون لا يضع قيوداً، على الشكل الذى يمكن أن تتخذه جسيمات المادة المظلمة. وهذا شىء جيد، لأنه يعنى أننا لم نقيد أفكارنا الكونية بإحكام إلى مرشح معين، ليكون جسيمًا للمادة المظلمة. وفى نفس الوقت، يحد ذلك الافتقار لتعيين مواصفات المرشح، قدرتنا لتحديد طبيعة المادة المظلمة، وفى الواقع، سوف نرى أن أفضل ما نستطيع عمله، القول بأننا لا نعرف ما الذى يشكل ما يصل إلى تسعين بالمائة من بنية الكون، بيد أننا نرد بالتاكيد، أنها ليست شيئًا رأيناه - أبداً - من قبل.

الفصل الثامن

المادة المظلمة والكتلة المفقودة: ماذا يجب أن يكون مقدارها؟

"هو ذا الزارع قد خرج ليزرع..

وفيما هو يزرع سقط بعضٌ على الطريق،

فجاءت الطيور وأكلته:

وسقط آخر على الأماكن المُحْجَرة،

حيث لم تكن له تربة كثيرة..

وسقط آخر على الشوك

فطلع الشوك وخنقه:

وسقط آخر على الأرض الجيدة

فاعطى ثمراً.."

(إنجيل متى - الإصحاح ١٣ : عدد ٩-٣)

(الكتاب المقدس)

ربما تفكر، وفق ما يتراءى لك ظاهرياً، أن اكتشاف شيء ما كالمادة المظلمة، سوف يقلب المجتمع الفلكي رأساً على عقب، ويسبب أشكالاً عدة من الشكوك والمجادلات بين "الأتراك الشباب"[1] الحريصين على تطوير علم جديد و"المحافظين القدامى"[2] الذين يحاولون الدفاع عن وجهات النظر التقليدية، وفي الحقيقة، لم يُثر قط مثل هذا الجدال، وبالطبع، فإن اكتشاف المادة المظلمة يبدو واحداً من أكثر أسرار العلم الحديث، المحتفظ بها في طي الكتمان. وعدم الاكتراث الذي استقبل به أول التصريحات عن هذا الاكتشاف، تعزو إلى حقيقة أن معظم علماء الفلك، قد اعتقدوا لفترة زمنية طويلة، أن مثل هذه المادة يجب أن توجد في مكان ما، من الكون. إنهم حتى أطلقوا اسماً على تلك المادة – "الكتلة المفقودة" – وذلك قبل التوصل إلى إماطة اللثام عن أي جزء منفرد من دليل، ينبئ عن وجود المادة المظلمة.

إن الصورة الذهنية المألوفة للعلماء، أنهم مجموعة من متصلبي الرأي لدرجة كبيرة، أفراد لا يصدقون إلا بالمشاهدة الفعلية، والذين لا يتقبلون أي أمر كحقيقة أو واقع. إلا بعد أن تثبت صحته، بما لا يقبل الشك، في المختبر. والحاصل فعلاً، أن الاعتبارات "الرقيقة" مثل الجمال والرونق والبساطة، تؤدي دوراً أكبر بكثير – في الطريقة التي يفكر بها العلماء – مما يعتقد الناس. وإذا لم تكن الفكرة جذابة – متألقة ومقبولة في أعماق الوجدان عندما يتم تفسيرها – فإنه قد يقع على عبء المؤيدين لها التوصل إلى دليل مقنع للغاية، قبل أن يتقبلها المجتمع العلمي السائد.

وبالفعل، طورت اختباراً سهلاً لتحديد ذلك الوقت الصعب الذي سوف يعاني منه المتحدث، إذا ما شعر في ترويج أفكاره – أو أفكارها – للمجتمع العلمي على نطاق واسع. وعندما تقترح فكرة معينة، مثلاً خلال محاضرة، فإنني أنظر إلى جمهور الحاضرين. فإذا ما رأيت أنهم يبتسمون ويؤمنون برؤوسهم، وهم يتابعون المحاضرة، عندئذ أدرك أن هناك إحراز تقدم في فهمهم دون أي صعوبة. وإلا، فلتحذر، إذ إن قبول فكرة المادة المظلمة من الاتجاه العلمي السائد، يتبع تماماً هذا النموذج.

(١) اتحاد لمجموعات عديدة لإصلاح الإدارة في الإمبراطورية العثمانية. (المترجم)

(٢) عناصر النخبة من المخضرمين في الحرس الإمبراطوري لنابليون. (المترجم)

وإذا قبلت هذه الفكرة بسهولة، فإن هذا يعنى - غالبًا - أن الناس يريدون تقبلها، وأنها فكرة مهد لها الطريق. والكون المتمدد الذى اكتشفه (هابل) يؤدى بارتياح - كما سوف نرى فى التو - إلى الشعور بأن كونًا معظمه من مادة غير مرئية، أكثر إمتاعًا وطبيعيًا، من كون كل شىء فيه مضيئًا ومرئيًا. ومن ثم، عندما اكتشفت المادة المظلمة، بدأت الإيماءات والابتسامات، وقال الجميع "بالطبع، إذ كيف يمكن أن تكون غير ذلك؟" وكان يبدو طبيعيًا للغاية، أن أحدًا لم يزعج نفسه بإطلاع الصحفيين عليه.

رمح (أرخيتاس) في كون متمدد

أتتذكر مجادلة (أرخيتاس) - التى تمت مناقشتها فى مقدمة هذا الكتاب - عن الكون اللانهائى؟ حسنا، كانت المشكلة الوحيدة فى استدلالاته، أنه أخطأ فى تحديد اتجاه الرمح. لقد أراد أن يسير حامل رمحه إلى حافة الكون، ويقذف برمحه أفقيًا. وماذا كان يدور بذهنه (وما الذى نعتقده عندما نقرأ مجادلاته) هو شىء ما، يشبه الوضع الموضح إلى اليسار فى (الشكل ١-٨)، فقد ألقى بالرمح بطريقة تجعل قوة الجاذبية تعمل فى اتجاه متعامد مع اتجاه الرمية.



الشكل 8.1

وفى كون هابل – على الرغم من ذلك – فإن حامل الرمح سوف يواجه موقفًا يماثل ما هو موضح إلى اليمين فى (الشكل ١–٨). سيلقى بالرمح إلى الخارج، وستعمل قوة الجاذبية فى نفس اتجاه الرمية، أى إنها سوف تعمل بطريقة معينة، تؤدى إلى إبطاء سرعة الرمح، وقد تجذبه إلى الوراء، حيث الكون المعروف، وإذا عاش (أرخيتاس) إلى يومنا هذا، فإنه – دون شك – سوف يدرك أن أفضل وسيلة لاختبار حجم الكون، تتضمن قذف الرمح رأسيًا، تاركًا إياه يحاول الانطلاق بعيدًا عن الأرض، بينما تعمل قوة الجاذبية جاهدة، على جذبه إلى الخلف من جديد.

ورمح (أرخيتاس) الذى يناسب عصرنا، هو "كوازر" مثل ذلك الذى يطلق عليه QSO1208 + 1011، ويعد – حتى الآن – أبعد جرم فضائى تم رصده فى الكون. لقد قذف حامل الرمح، برمحه بحيث يتحرك بعيدًا عنا (وكذلك عن كتلة الكون المعروف) بسرعة تقترب من سرعة الضوء[١]. والسؤال الذى يثار حول QSO1208 + 1011 هو نفس التساؤل الذى أراد (أرخيتاس) أن يستوضحه عن رمحه. هل يواصل انطلاقه إلى أعلى، أم يتحول عن مساره إلى اتجاه معاكس ويعود إلى نقطة انطلاقه، فى وقت ما فى المستقبل؟

ولو تصورنا حامل الرمح يقف على سطح الأرض، بدلاً من حافة الكون، سوف تكون الإجابة عن السؤال أكثر بساطة. نعلم حجم المادة التى يشتمل عليها كوكب الأرض، ومن ثم، فإننا نعرف تمامًا مدى شدة القوة التجاذبية التى سوف تبذلها على الرمح. وسواء استطاع الرمح أن يهرب إلى الفضاء أو أن يعود إلى الأرض، فإن هذا يعتمد على شىء واحد فقط، هو مدى سرعة انطلاق الرمح فى الفضاء، فإذا كانت أكثر من سبعة أميال[٢] فى الثانية، سوف يتمكن الرمح من الهروب من جاذبية الأرض. وبخلاف ذلك، سوف يرتد من جديد، وهذا كل ما فى الأمر. وعلى الرغم من أن

---

(١) سرعة الضوء فى الفراغ ٣٠٠,٠٠٠ كيلو متر فى الثانية. (المترجم)

(٢) الميل يساوى ١,٦٠٩ كيلو متر. (المترجم)

(أرخيتاس) سيلاقى الأمرين فى تخيل رمح ينطلق بهذه السرعة، فإن "حامل الرمح" فى وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، لن يجد صعوبة على الإطلاق، وفى تحقيق تلك السرعة.

وفى الكوازرات النائية، فإن الصعوبة التى تواجهنا هى العكس تمامًا، من هروب الرمح من كوكب الأرض. ففى حالة الرمح، نعرف كتلة الأرض، وعلينا أن نحسب السرعة المطلوبة للهروب. أما فى حالة الكوازر، فإننا نعرف السرعة، ولكننا لا نعرف حجم الكتلة التى تجذبها إلى الوراء.

وبالتفكير مليًا فى مصير الكوازر الذى يبعد عنا بمسافة مروعة، فإن المرء سوف يدرك - توًا - أن القوة الوحيدة التى يمكنها ممارسة ضغطًا لتبطئ من سرعته، هى القوة التجاذبية، لبقية الكتلة فى الكون، وتعمل كل كتلة من كتل الكون المتوازية مع الكتلة الكلية للأرض - على الرمح المنطلق من سطح كوكب الأرض. وتحدد كلتا الكتلتين، مقدار سرعة الهروب التى يجب أن تتوفر لأى شىء. ومن ثم، عندما نتساءل عما إذا كان الكوازر سوف يتحول - فى أى وقت - عن مساره إلى الاتجاه المعاكس، فإننا فى حقيقة الأمر، نسأل عن ماهية الكتلة الكلية للكون، أو بالأحرى، نسأل: ما وزن الكون؟

ولما كانت المادة المظلمة - مثل مثيلتها المادة المضيئة - يمكنها أن تبذل قوة تجاذبية، فهى أيضًا سوف تبذل قوة على ذلك الكوازر النائى.

وهذه النقطة البالغة الوضوح والمدركة بسهولة، يجب أن تطرح للمناقشة، لأننا عندما نقوم بوزن الكون، فإن علينا أن نضع كلاً من المادة المظلمة، والمادة المضيئة فى كفتى ميزان، إذا ما أردنا الحصول على إجابة جديرة بالثقة ويمكن الاعتماد عليها.

وتبعث القوة المبذولة على كوازر قصى، بواحد من أهم الأسئلة، التى يمكننا طرحها عن كون هابل: هل يستمر التمدد إلى الأبد، أم أنه سوف يتوقف فى زمن غير محدد فى المستقبل، ويعكس اتجاهه؟ وهذا السؤال يفرض نفسه بقوة ويسترعى الانتباه بشدة، بمجرد رسوخ حقيقة الكون المتمدد.

وهناك فقط ثلاث إجابات محتملة لهذا السؤال، يتعلق كل منها بنوع مختلف من الكون:

(١) ربما لا توجد ثمة مادة كافية فى الكون، لتعكس اتجاه التمدد. فى هذه الحالة، فإن الكوازرات التى تتجه إلى الخارج وكذلك المجرات، سوف تبطئ بمرور الوقت، ولكنها لن تتوقف أبداً. وعندئذ نقول بأن الكون "مفتوح".

(٢) ربما تكون هناك كتلة كافية لتبطئ وتوقف ثم تعكس اتجاه حركة الأجرام الفضائية الأكثر بعداً فى الكون. وأن التمدد الكونى الذى نلاحظه فى الوقت الحاضر، سوف يتحول إلى تقلص كونى، الذى يشير إليه بعض علماء الفلك (وكأنهم يتندرون) بالانكماش الأعظم. وفى هذه الحالة، فإننا نقول بأن الكون "مغلق".

(٣) ربما تكون كتلة الكون مروّعة، بحيث تكون القوة التجاذبية، كافية بالكاد، لتبطئ وتوقف هذه الأجرام الفضائية الأكثر بُعداً فى الكون، بعد مرور زمن غير محدد.

عندئذ، سوف يبطئ تمدد الكون إلى الأبد، ويتوقف عند زمن لا متناه، بيد أنه لن يعكس اتجاهه أبداً. ويقال عن مثل هذا الكون "مسطح". وكما سوف نرى، فإنه من بين هذه الاحتمالات الثلاثة، فإن الكون المسطح هو الأكثر بعثًا للاهتمام. وإلى هنا، قد ناقشنا تمدد الكون، وعلاقته بالقوى التجاذبية، التى تبطئ من سرعة المجرات القصية. وهذا أسلوب فى التعبير يسهل علينا فهمه، لأنه مشابه للخبرة التى نكتسبها فى حياتنا اليومية. ولكنها ليست اللغة التى يمكن لعالم الفيزياء الفلكية استخدامها. وفى الأدب العلمى، عادة ما تستخدم مفردات اللغة التى وردت مصطلحاتها فى النظرية النسبية العامة لأينشتين. وبمعنى آخر، فإننا – حتى هذه النقطة – قد استخدمنا لغة نيوتن، لأنها مألوفة أكثر. والآن، أريد أن أستطرد بإيجاز لأعرفك بلغة أينشتين، إذ إنها مشوقة ومثيرة للاهتمام فى حد ذاتها، كما أنها تجعل بعض الموضوعات الفلكية، أكثر سهولة فى فهمها.

الكون المفتوح والمغلق فى النظرية النسبية العامة لأينشتين

إن أول شىء يجب أن نعرفه عن النظرية النسبية العامة لأينشتين، هو أنها - على مستوى المفاهيم - لا تتطلب مجهوداً خارقًا لاستيعابها. إن الفكرة الشائعة عن النظرية النسبية أنها شىء يتمتم به بأسلوب غامض، ثلة من العلماء الملتحين. وهم الذين يمكنهم التعامل معها، وهذه مجرد خرافة لا ترقى إلى مستوى الحقيقة، كما أنه ليس صحيحاً أن مجموعة من نحو اثنى عشر شخصاً فقط فى العالم كله، يمكنهم فهم هذه النظرية. لعل هذه الانطباعات كانت مقبولة ظاهريًا فى العشرينيات من القرن العشرين، أما اليوم، فإنها تعد مجرد أفكار ساذجة. إن المفاهيم الأساسية للنسبية، تدرس بشكل تقليدى لطلاب العلوم والفنون فى المناهج التمهيدية للفلك والفيزياء، ولا يمكن لأى طالب أن يسجل فى مقرر الفيزياء المتقدم فى إحدى الكليات الجامعية، دون أن يكون متمكنًا تمامًا من مبادئها. وحتى النواحى الرياضية البحتة فى النظرية النسبية العامة، يتم تدريسها - فى كل عام - لمئات الحاصلين على شهادات جامعية، وأتمنى أنه فى نهاية هذا الاستطراد، سوف يكون واضحًا أن فهم النظرية النسبية، فى مقدور أى شخص يرغب فى إعمال فكرة - أو فكرها - فى مفاهيمها الأساسية.

ودعونا نبدأ بأحد أكثر المفاهيم المروعة، وهى التى تتعلق بالزمكان، رباعى الأبعاد. مثل الرجل الذى انتابته الدهشة عندما اكتشف أنه يتحدث نثرًا طوال حياته، إن معظم الناس يفاجأون بأنهم كانوا يستخدمون هذا المفهوم طوال الوقت.

حاول أن تتذكر آخر مرة، قلت فيها شيئًا ما مثل "سأكون فى شيكاغو يوم الثلاثاء القادم"، إن هذه العبارة تتضمن فى ثناياها، معلومات يمكن تصنيفها تحت عنوانين رئيسيين، "متى" و"أين".

كم عدد الأرقام التى تحتاجها لتحديد هذه الـ "متى" و"أين"؟ أولاً، يجب عليك أن تحدد موقع مدينة شيكاغو. وهذا يتطلب توفر ثلاثة أرقام. إذ يمكنك - على سبيل المثال - استخدام خط العرض وخط الطول والارتفاع لتحديد نقطة فى الفضاء، نطلق عليها

(شيكاغو). وعموماً، فأنت فى حاجة إلى ثلاثة أرقام، لكى تنكر على وجه التحديد أى نقطة فى فضائنا العادى ثلاثى الأبعاد، أنت أيضًا فى حاجة إلى رقم واحد لتعين بالضبط الوقت الذى تتضمنه عبارتك، ربما يكون ذلك الرقم هو الوقت فى يوم الثلاثاء، الذى سوف تهبط فيه طائرتك. ومن ثم، لتتمكن من إعطاء معنى العبارة على نحو صحيح، ثمة أربعة أرقام تحتاجها. ثلاثة منها تتعلق بالموقع المكانى وواحد زمنى. ويجمعهم معًا، فإن هذه الأرقام الأربعة، تشكل وصفًا رباعى الأبعاد.

وفى حياتنا اليومية، عادة لا نفكر فى الزمن، كبعد رابع، ذلك أننا نفترض أن نهر الزمن هو نفسه فى "نيروبى"[1] أو فى النجم "ألفا قنطورس"[2]، كما هو فى مدينة (شيكاغو). ولأغراض ممارسة الحياة اليومية، فهذا الافتراض حقيقيًا إلى حد ما، وبالتأكيد هو حقيقى ضمن الحدود التى نستخدم فيها الزمن خلال حياتنا اليومية. لا تبين الساعات توقيتًا مختلفًا، عندما نرتحل من مكان إلى آخر، كما أنها لا تتغير عندما نركب طائرة أو سيارة[3].

بيد أننا عندما نتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء، أو عندما نكون قريبين من كتل بالغة الضخامة، فإن توقعاتنا اليومية عن استقلال الزمان والمكان، لا تعد تصف الكون بدقة. وفى هذه البيئات غير المعتادة، فإن البعد الرابع - الزمان - يصبح معقداً ومتشابكًا مع الأبعاد الثلاثة الأخرى. تمامًا كما لو أنك لا تستطيع السفر من (شيكاغو) إلى (نيويورك)، بمجرد تغيير خط العرض وخط الطول فقط (بل يجب عليك أيضًا أن تغير الارتفاع)، ومن ثم، فعندما تقارن الحركة بين مركبتين فضائيتين صاروخيتين تنطلقان بسرعة هائلة، سوف تجد تغيرًا ليس فقط فى الأبعاد المكانية، بل أيضًا فى البعد الرابع وهو الزمن.

---

(١) عاصمة كينيا بأفريقيا. (المترجم)

(٢) نجم فى كوكبة "قنطورس" يبعد عن الأرض بحوالى ٤,٣ سنة ضوئية. (المترجم)

(٣) إن التغيرات التى تتعلق بالنطاقات الزمنية، مجرد اتفاقيات دولية قام بها البشر، وهى لا تدخل فى إطار ما نناقشه هنا. (المؤلف)

وسوف تتحرك الساعات فى مركبتى الفضاء بمعدلات متباينة[1]، ويشرح هذا الترابط لماذا نتحدث فى الفيزياء النيوتونية عن "الزمان والمكان"، ولكن فى الفيزياء النسبية الحديثة نقول "الزمكان".

نحن الآن مستعدون لمناقشة مفهوم آخر للنسبية، ذلك الذى يتعلق بمصطلح "طى الزمكان". وهذه هى أكثر الأفكار أهمية والتى يجب إدراكها، لكى نتفهم بنية الكون ذات الامتداد المروع. ولكن بادئ ذى بدء، أرجو أن تلاحظ أن هناك نظريتين منفصلتين للنسبية: الخاصة والعامة. وكلاهما مستمد من مبدأ أساسى واحد، ألا وهو مبدأ النسبية. ومفاده أن "قوانين الطبيعة كما يدركها أى مراقب، متماثلة".

وإذا كان المراقبون يتحركون بسرعات ثابتة، فإن اتباع النتائج الرياضية لمبدأ النسبية، يقودنا إلى النظرية الخاصة للنسبية. وهذه النظرية - التى نشرها أينشتين فى العام ١٩٠٥ - تشتمل على معظم التأثيرات المألوفة وغير المتوقعة للنسبية، وأعنى بها الساعات سريعة الحركة التى تبطئ فى توقيتها، والأشياء التى يزداد ثقلها عندما يرتفع معدل تسارعها، وهلم جرا.

وقد تم اختبار هذه النظرية جيدًا بطرق عدة. وفى الواقع، فإن معجلات الجسيمات العملاقة تسرع البروتونات إلى ما يقرب من سرعة الضوء، هى أمثلة عملية لأجهزة صممت وفقًا لمبادئ نظرية النسبية الخاصة. واستمرار تشغيل معجلات الجسيمات بكفاءة، يقدم تأكيدًا يوميًا على صحة النظرية.

وإذا عمقنا تعريفنا للمراقب. ليتضمن حتى هؤلاء المراقبين الذين يتحركون بتسارع، عندئذ يؤدى بنا المبدأ إلى النظرية النسبية العامة، وهى نظرية تكتنفها الكثير من الصعوبات الكأداء، من وجهة النظر الرياضية. وكان أينشتين قد نشرها فى العام ١٩١٥. وتعد نظرية النسبية العامة، هى أفضل نظرية حاليًا عن الجاذبية، وكذلك فإنها تنشئ

---

(١) لكى نكون أكثر دقة، سوف تتغير الساعات، عندما تنطلق مركبتا الفضاء بأى سرعة، ولكن عندما تقتربان من سرعة الضوء، فإن التغير فى معدلات الساعات، سيصبح مهمًا. تجد مناقشة كاملة أكثر عن النظرية النسبية العامة فى كتابى "الأفق غير المتوقع" "The unexpected Vista". (المؤلف)

مفهوم طى الزمكان. وإذا تغاضينا عن الرياضيات، فإننى سأحاول الآن أن أوضح لك كيف أن التعجيل يرتبط بالجاذبية، من خلال مبدأ النسبية، وبعدها سوف أقترح طريقة بسيطة، لتكون صورة ذهنية للكون، كما تراءى لعينى أينشتين.

ربما مررت بتجربة الولوج إلى مصعد يقف فى الدور الأرضى لمبنى مرتفع، وعندما يتحرك إلى أعلى، تشعر بنفسك وأنت تدفع من أسفل حتى تصل إلى الطابق المطلوب. وثمة احتمالات، بأنك قد اجتزت عكس هذه التجربة، عندما تهبط بالمصعد من أعلى طابق، إذ سوف تشعر بنفسك وأنت على وشك الطفو، عندما يبدأ المصعد فى الهبوط من أعلى، وهذه المشاعر ليست مجرد وهم. وإذا كنت تقف على ميزان صغير داخل المصعد، فسوف ترى "وزنك" – بالفعل – يزداد فى رحلة الصعود وينخفض عند الهبوط.

وهذا التغير الظاهرى فى وزنك داخل المصعد المتحرك، يرتبط مع تسارع وتباطؤ حجرة المصعد. (وتعرف أن ذلك حقيقى لأنك تشعر بالتغير فقط عندما يتحرك المصعد أو يتوقف). وهذا – باختصار – هو السبب فى أن النظرية النسبية العامة هى نظرية عن الجاذبية. ويخبرنا مبدأ النسبية، أن كل مراقب يتحرك بتسارع أم لا، لابد أن يرى نفس قوانين الفيزياء، تعمل فى إطاره – أو إطارها – المرجعى[1]. ولو فكرت فى تجربتك فى الوقوف على كفة الميزان الصغير ومراقبة قراءة الأرقام فى المقياس، ويخبرك المبدأ بأنه ليس ثمة طريقة لتحديد عما إذا كانت قراءة الميزان، ترجع إلى الحقيقة بأنك تقف على جسم يخضع لقوة الجاذبية، مثل الأرض، أو أنك فوق جسم يتسارع فى أعماق الفضاء بين النجوم. وفى كلا الموقفين، سوف يظهر الميزان الثقل (وحدة قياس قوة الجاذبية). وباختصار، فإن المبدأ يوضح بأنه ليس ثمة تجربة يمكن القيام بها، بحيث تخبرنا عما إذا كنا فى مركبة فضائية متسارعة، أو فوق سطح أحد الكواكب.

وهذه العلاقة بين التسارع وآثار الجاذبية، هى حجر الزاوية لنظرية النسبية العامة. ولا شك أن الجوانب الرياضية لهذه النظرية بالغة الصعوبة، بيد أن النتائج

(١) وإذا أردت إجراء هذه التجربة، فإننى أقترح أن تختار الوقت الذى يكون حولك عدد قليل من الناس، لقد قمت بالتجربة فى بناية "برج سيرز" فى شيكاغو، وهى من أعلى المبانى فى العالم، وحصلت على نظرات غريبة من الذين كانوا معى فى حجرة المصعد. (المؤلف)

المحققة عندما نبدأ من هذه العلاقة ونتابعها إلى ختامها المنطقى، فمن السهل تصورها ذهنيًا، خاصة مع الاستعانة بضرب الأمثلة المبنية على التشابه الجزئى.

تخيل لوحة من المطاط المرن، مرسومة على هيئة شبكة قضبان متصالبة[١]، كما هو موضح إلى اليسار، فى (الشكل ٢-٨). ثم تصور إلقاء محمل كبير للكريات الصلبة، فوق لوحة المطاط المرن. سوف تكون النتيجة تشويهًا لها، كما هو موضح على اليمين فى (الشكل ٢-٨). وإذا دحرجت بلية زجاجية عبر هذه اللوحة المشوهة، ستجد أن مسارها، سوف ينحرف عندما ترتطم بالوهدة[٢] كما هو مبين فى نفس الشكل. وكما هى الحال فى المصعد، ليس ثمة طريقة، تعرف بها عما إذا كانت البلية الزجاجية قد انحرفت وغيرّت مسارها، لأن لوحة المطاط شوهت أو أن قوة تجاذبية، تعمل بين البلية الزجاجية ومحمل الكريات. وبمعنى آخر لن يكون هناك فرق ما دام الأمر يتعلق بحركة البلية الزجاجية، بين كون تُحرف فيه قوة الجاذبية - بين الأجرام الفضائية - مسار البلية الزجاجية، وكون آخر يقوم فيه محمل الكريات بتشويه اللوح المطاطى، وأن هذا التشويه - بدوره - يحرّف البلية الزجاجية. والاختلاف بين هاتين الطريقتين فى النظر إلى حركة البلية الزجاجية - فى الأساس - هو الفرق بين نيوتن وأينشتين.

Dark Matter and Missing Mass: How Much Should There Be?

الشكل 8.2

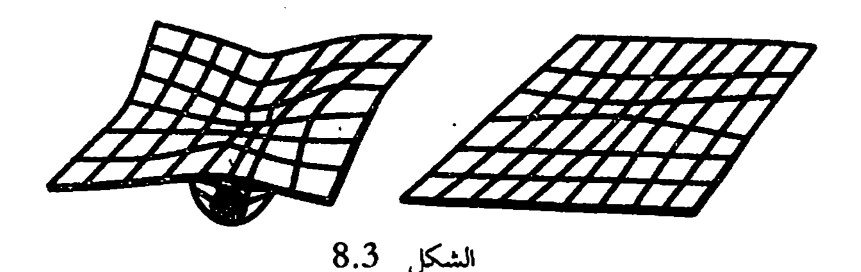
(١) مجموعة من المحاور للإحداثيات يمكن عن طريقها تحديد الموقع والحركة. (المترجم)

(٢) جزء منخفض عما حوله. (المترجم)

فى كـون أينشـتين لا تـعـمل القـوى. ومـا يحـدث هو أن وجـود المادة يطوى بنيـة الزمكان، كما أن محمل الكريات شوّذه اللوح المطاطى. ونعزو الحركات التى اعتدنا أن تكون ملازمة لتأثير القوى، إلى تشوهات فى بنية الزمكان، أحدثها وجود المادة. وليس كون أينشتين ذلك الذى يناقض كون نيوتن، بل على الأصح، أن نفس الحقائق الملاحظة، قد تم تفسيرها بشكل مختلف.

وعلى سبيل المثال، يمكننا إعادة صياغة السؤال عن الكون المفتوح والكون المغلق، الذى تمت مناقشته آنفًا فى إطار لغة ومصطلحات نشاط النسبية العامة، تخيل تعاظم لكتلة محمل الكريات، فى مثالنا، وفى نهاية الأمر، سوف نجد أمامنا موقفًا، يزداد فيه عمق التشويه أكثر وأكثر، بتأثير ثقل محمل الكريات. إلى أن يصل إلى مرحلة ينغلق فيها على نفسه.

والآن، تخيل ما الذى يمكن أن يحدث للبلية الزجاجية، فى داخل تلك الوحدة الكروية الشكل، المستقلة والكاملة بذاتها، والتى أحدثتها الكتلة الضخمة لمحمل الكريات. وربما تستطيع أن تدفع البلية الزجاجية إلى خارج القاع، مزودًا إياها بقليل من السرعة، وفى هذه الحالة، سوف تتدحرج لدرجة معينة، إلا أعلى جدران الفقاعة ثم سرعان ما تسقط إلى أسفل (انظر الشكل ٣-٨ إلى اليسار).



الشكل 8.3

ومن ناحية أخرى، تخيل أنك تدفع بقوة البلية من القاع، بسرعة كبيرة للغاية. وفى هذه الحالة ربما تنطلق على طول الطريق حول الفتحة المتكونة والملتفة حول نفسها. ولكن بصرف النظر عن مدى سرعة البلية، فإنه عاجلاً أو آجلاً، سوف ترتد إلى أسفل من جديد، إلى حيث بدأ انطلاقها، ويماثل هذا التشبيه، ما أطلقنا عليه "الكون المغلق"، وبمعنى آخر، إذا كانت الكتلة كبيرة بقدر كاف، يمكنك أن تتبنى وجهة النظر النيوتينية، وتقول بأنها تمارس قوة تجاذبية كافية، لجذب البلية إلى أسفل أو قد تأخذ وجهة نظر أينشتين، وتقول بأن الكتلة كبيرة بقدر كاف، بحيث تطوى الفضاء على نفسه (أى "تغلقه"). وفى كلتا الحالتين، سوف تصل فى النهاية إلى نفس النتيجة.

وإذا كانت كتلة محمل الكريات كبيرة بقدر كاف، سوف ينتج ما الذى أطلقنا عليه "كون مسطح". وبعيداً عن محمل الكريات، سوف تسترجع شبكة القضبان المتصالبة - إلى حد ما - شكله العادى غير المشوه. وكما فى (الشكل ٣-٨) إلى اليمين، سوف تكون شبكة القضبان المتصالبة، سطحًا مستويًا ومنبسطًا، يمكن أن تتدحرج عليه البلية الزجاجية (وهذا هو أصل الاصطلاح "الكون المسطح"). وإذا كانت الكتلة أقل من المقدار المطلوب، لإنتاج هذا "التسطيح"، يكون الكون فى هذه الحالة، مفتوحاً. ولا يمكن التعبير عن هذا بالرسم على ورقة ذات بعدين اثنين (إذ إننا - برغم كل شىء - نتعامل مع أربعة أبعاد). إننى أفكر فى الكون المفتوح على أنه يشابه تقريبًا، سطح سرج[1]، وما إن يبدأ محمل الكريات فى التدحرج حتى يستمر، ولن يعود أبداً إلى الخلف.

وكما ترى، فإن التشابهات عديدة بين الطرق التقليدية والنسبية للنظر إلى الحركة، وهذا الأمر لا يثير الدهشة، إذ إن كليهما يصف نفس القوة التجاذبية. وإذا توخيت الدقة، فليس هناك سوى أمثلة قليلة يمكن بها بالفعل قياس الاختلافات بين طريقتى النظر إلى الجاذبية. وعمومًا، تنطبق النسبية على مستويات المسافات المروعة وعلى الكتل البالغة الضخامة، ولكن تعطى نفس النتائج كما فى الجاذبية النيوتينية، تقريبًا

---

(١) يستخدم لوضع حمل على حيوان (غالبا حصان). (المترجم)

لكل المواقف، حيث يمكن بالفعل إجراء القياسات (وبمعنى آخر، لكل الظواهر التى تتضمن فى ثناياها مسافات كونية أقل من عدة ملايين سنة ضوئية).

وتقودنا هذه الحقيقة إلى أحد أكثر المواقف إثارة للدهشة، فى تاريخ العلم. إن النظرية النسبية العامة، على خلاف النظرية النسبية الخاصة، قد اختبرت بشكل بالغ الدقة فى موقفين لا غير[١]. وعلى الرغم من الحقيقة، بأن نظرية النسبية العامة، من أكثر النظريات - على الإطلاق - ثورية، وقد قبلها العلماء على أسس تكاد تكون جمالية فنية. وتم قبولها بسرور، لأنها تتضمن مقداراً من الجمال والذوق الرفيع، ومن ثم، يجب أن تكون صحيحة. وهذا القبول من العلماء، دليل مقنع ورائع، إذ إن الرأى عندى، أن النتائج العلمية عادة يتم التوصل إليها بعمليات أكثر تعقيداً، من مجرد تقييم بسيط للحقائق التجريبية.

وعلى أية حال، فمن الواضح أنه أيما كانت اللغة التى نستخدمها لوصف التساؤل عن الكون المفتوح والكون المغلق، وتعتمد الإجابة على كمية واحدة: الكتلة الكلية للكون. وعن هذه الكمية يمكننا أن نوجه سؤالين متباينين: ما مقدار الكتلة هناك، وكم يجب أن يكون مقدار هذه الكتلة؟ دعنا نتفحص هذين السؤالين باختصار.

ما مقدار المادة التى نراها ؟

إجمالى كتلة المادة فى الكون، عادة يعطى فى شكل مصطلح هو "الكثافة الحرجة للكون"[٢] ويرمز لها بالحرفين Ω C. وتلك هى كثافة المادة التى تلزم لتشكيل كون

(١) كان اختبارى النظرية النسبية العامة، عبارة عن انحناء الضوء والموجات الراديوية، عندما يدوران حول الشمس، وكذلك بعض التأثيرات الطفيفة المحددة فى مدار كوكب عطارد، وثمة اختبار ثالث، يتضمن قياس الانزياح نحو الأحمر للضوء، عندما يتصاعد من بئر الجانبية لكوكب الأرض، بيد أن هذا الاختبار يتحقق من مبدأ النسبية، أكثر من تفاصيل النظرية النسبية العامة. (المؤلف)

(٢) القيمة التى يكون فيها الكون فى حالة توازن ومتوقفا عن تمدده. (المترجم)

مسطح. والكثافة الفعلية التى يتم رصدها، إما تكون - إذن - أقل أو أكبر من هذه القيمة. وفى الحالة الأسبق يكون الكون مفتوحًا أما فى الحالة الأخيرة، يكون الكون مغلقًا. وقيمة الكثافة الحركة ليست كبيرة للغاية، إذ تعادل نحو بروتون واحد فى كل متر مكعب من الفضاء. وقد لا يبدو ذلك مقدارًا وافرًا، إذا زودت بالرقم الهائل لعدد الذرات فى متر مكعب من تربة الأرض، بيد أن عليك أن تتذكر بأن هناك قدرًا مروعًا من الفضاء الخالى، بعيدًا فى الكون، بين المجرات.

إن تقدير كمية المادة المضيئة فى الكون، أمر بالغ السهولة. إننا نعرف مدى لمعان النجم المتوسط، ومن ثم، يمكننا الحصول على تقدير لأعداد النجوم فى مجرة نائية. وحينئذ نستطيع أن نحصى عدد المجرات، فى حجم معين من الفضاء ثم نضيف الكتل التى وجدناها. وبقسمة الكتلة على حجم الفضاء، نحصل على متوسط كثافة المادة فى ذلك الحجم. وعندما نقوم بتنفيذ هذه العملية، سوف نجد أن كثافة المادة المضيئة هى تقريبًا واحد إلى اثنين بالمائة من الكثافة الحرجة، وهى أقل بكثير مما نحتاجه لكى "نغلق" الكون. ومن ناحية أخرى، فإنها قريبة إلى حد كبير من القيمة الحرجة، مما يجعلك تتوقف عن البحث وتنتابك الشكوك وتمعن التفكير فى الأمر. وعلى أية حال، فيمكن لهذا الكسر - من حيث المبدأ - أن يكون واحدًا على بليون أو واحدًا على تريليون[1]، ويمكن أيضًا أن يكون قد حدث، إن كانت هناك مادة مضيئة يبلغ مقدارها مليون مرة قدر ما يتم الاحتياج إليه، لغلق الكون. ولكن ما السبب، فى أنه من بين كل الكتل التى يمكن للكون تشكيلها، تكون تلك الكتلة المقاسة من المادة المضيئة، قريبة إلى هذا الحد من القيمة الحرجة؟

يمكن للمرء أن يجادل دائمًا، بأن هذه حادثة كونية، وهذه الأشياء تقع بمحض المصادفة، ثم تتطور لتصبح كما هى عليه الآن. ولكن من الصعوبة قبول ذلك التفسير، وأظن أن آخرين لهم نفس الرأى. ويدفعنا هذا إلى القول، بأن الكون بالفعل. له كتلة

(١) البليون = ألف مليون، والتريليون = مليون مليون. (المترجم)

حرجة، بيد أننا – بطريقة ما – نفشل فى أن نراها كلها. وكنتيجة لهذا الافتراض، بدأ الفلكيون يتحدثون عن "الكتلة المفقودة"، ويعنون بها تلك المادة التى تؤدى إلى التباين بين ما تم رصده، والكثافات الحرجة، ولم يستهونى قط هذا المصطلح، ذلك أنه يحمل بين طياته إشارة دينية، فعندما نقول بأن شيئًا ما "مفقود" ففى ذلك تلميح ضمنى، بأن هذا الشىء من المفترض أن يكون هناك. وليس لدينا أى دليل بأن أى كتلة "مفقودة"، ولكن مجرد شعور حدسى قوى، بأنه ربما تكون ثمة المزيد من المادة مختفية بعيدًا هناك. وهنا النزوع إلى الإيمان فى كون أكبر حجمًا مما توضحه المادة المضيئة، هو ما كنت أتحدث عنه آنفًا، عندما قلت بأن المسرح قد أعد لوجود المادة المظلمة، بذلك الإيمان الشائع بالكتلة المفقودة. ولعظيم رضائى (ولا بد أن أعترف، دهشتى)، فإن مصطلح "الكتلة المفقودة" قد أزيل – فى السنوات الأخيرة – من المعجم الفلكى. وتم استبدال به المصطلح الأكثر دقة وحيادية "المادة المظلمة".

ولنستطرد مع القصة، إن وجود الهالات المجرية ذات الكتل التى تزيد بعشر مرات عن المادة المضيئة فى مجرة ما، تدفع بتقدير الكثافة إلى مدى من عشر إلى عشرين بالمائة من القيمة الحرجة. ولو جال بخاطرنا، أننا قد اقتربنا إلى حد كبير من المادة المضيئة فقط، فإننا بالتأكيد أكثر قربًا الآن.

والمادة المظلمة فى العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة، قد اكتشفت حديثًا جدًا، لتحدث إجماعًا فى الآراء يعم بين الفلكيين، بالنسبة لمساهمتها فى الكتلة الكلية للكون. (وثمة مجادلة مفعمة بالحيوية عن هذا الموضوع، مازالت مستمرة حتى الآن). ويبدو أن النقطة الجوهرية، هى أنه عند تضمين المادة المظلمة، فإن الكثافة الكلية لكتلة الكون، مازالت لا تزيد عن ثلاثين بالمائة، من القيمة الحرجة.

واستمرار قيمة هذه الكتلة فى الارتفاع لتصل إلى القيمة الحرجة مع مرور الوقت، سوف تتم مناقشتها فى الفصل الثالث عشر. أما الآن، فسوف أقتبس، ببساطة، ملاحظة أبداها عالم الفيزياء الفلكية (ستيفن هوكنج). فقد سأله أحد زملائه عن مقدار

المادة المظلمة التى رصدت. أجاب (هوكنج) "منذ عشرين عامًا كان لديك اثنان بالمائة. واليوم لديك ثلاثون بالمائة. فلماذا لا تخرج وتنظر من جديد؟".

كم يجب أن تكون عليه كتلة الكون؟

دور التضخم

ظهرت إلى الوجود فكرة الكتلة المفقودة، لأن كثافة المادة التى تم رصدها فى الكون قريبة من قيمتها الحرجة. وعلى الرغم من ذلك، فحتى أوائل الثمانينيات من القرن العشرين، لم يكن هناك سبب نظرى ثابت، للافتراض بأن الكون - بالفعل - له كتلة حرجة، وفى العام ١٩٨١، نشر (آلان جوث) - كان وقتئذ فى جامعة (ستانفورد)، أما الآن فهو فى MIT معهد (ماساتشوستس) للتقنية[١] - أول بحث يتضمن وجهة نظره التى صاغها فى شكل نظرية، عرفت فيما بعد باسم "الكون المتضخم". ومنذ ذلك الوقت، أجرى على النظرية عدد من التعديلات التقنية، بيد أن النقاط الرئيسية، لم تتغير. ولأجل بحثنا فى هذا الكتاب، فإن الملمح الأساسى للكون المتضخم، أنه أرسى للمرة الأولى ثمة افتراض نظرى قوى، بأن كتلة الكون، لابد أن لها بالتأكيد قيمتها الحرجة. واشتق هذا التنبؤ من النظريات التى تصف تجميد القوة الشديد بعد الانفجار الأعظم بـ ٣٥-١٠ ثوانٍ. ومن بين العمليات الأخرى التى حدثت فى ذلك الوقت، كانت عملية تمدد سريع للكون، الذى أطلق عليه فيما بعد "التضخم"، ويقودنا وجود ذلك التضخم إلى التنبؤ بأن الكون لابد أن يكون مسطحًا.

والعملية التى تؤدى إلى تجمد القوة الشديدة، ما هى إلا مثال على "تغير الطور"[٢]، إذ إنها تتشابه فى كثير من النواحى مع عملية تجمد الماء. إذ عندما يتجمد

---

(١) Massachusetts Institute of Technlogy. (المترجم)

(٢) الطور، جزء متجانس من مادة ما، يوجد فى منظومة فيزيائية غير متجانسة ويمكن فصله عن هذه المنظومة آليا. (المترجم)

الماء إلى ثلج، يحدث له تمدد، وسوف تتهشم زجاجة الحليب، إذا تركت فى الخارج ليلة واحدة خلال فصل الشتاء - وعندما نقول بأن الكون يتمدد بنفس الطريقة، عندما يغير الطور، فإن هذا يجب ألا يثير الدهشة البالغة.

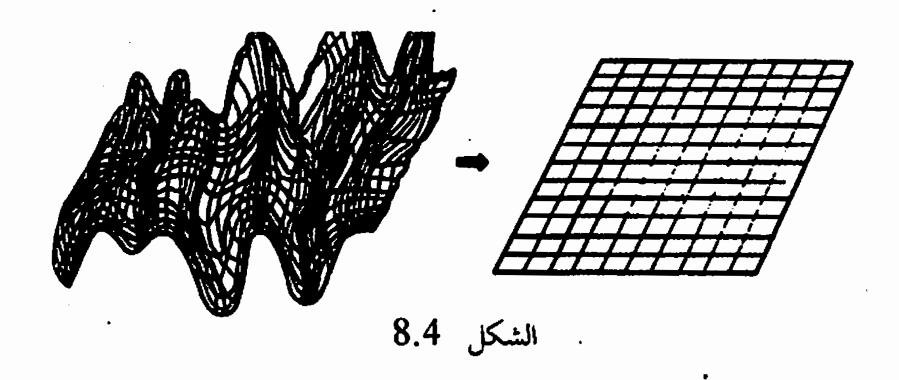
وما هو مدهش بحق، هو ذلك المدى المروع لضخامة التمدد الكونى. فلقد ازداد حجم الكون بعامل لا يقل عن ١٠^٥٠ ! وهذا الرقم عظيم القدر، إلى الحد أنه يكون بلا معنى للغالبية العظمى من الناس، ومنهم مؤلف هذا الكتاب. ودعنى أصيغ لك هذا الأمر بالطريقة التالية: لو أن طولك ازداد فجأة بعامل فى ضخامة ذلك الرقم، فإنك سوف تمتد من أول الكون إلى آخره دون وجود أى فراغ، وحتى لو زادت أبعاد بروتون واحد داخل ذرة مفردة فى جسمك، بمقدار ١٠^٥٠، فإنه سوف يصبح أضخم من الكون بأسره. وعند ١٠^-٣٥ ثوانٍ، تحول حجم الكون من شىء نصف قطر تقوسه[1] أصغر كثيراً من أصغر جسيم أولى، إلى شىء فى حجم ثمرة "كريب فروت" لا عجب إذن أن تعبير "التضخم" مرتبط بهذه العملية الكونية. وعندما قرأت للمرة الأولى عن الكون المتضخم، وجدت صعوبة فى تصور معدل ذلك التضخم. وتساءلت: أليس مثل هذا النمو السريع فى الكون، يناقض انتقادات أينشتين للسفر أسرع من الضوء؟ ولو أن جسماً مادياً ارتحل من جانب ثمرة الكريب فروت إلى الأخرى فى مدة ١٠^-٣٥ ثوانٍ، فإن سرعتها سوف تتجاوز سرعة الضوء بمقدار كبير. والإجابة عن هذا التعارض، يمكن أن توجد فى مثال عجين الخبز بالفصل الثالث.

وخلال فترة التضخم فإن الفضاء نفسه الذى يتمدد، مثل عجين الخبز. ولا يتحرك أى جسم مادى - ولا حتى حبات الزبيب - بسرعة عالية فى داخل الفضاء. ومن ثم فإن القيود ضد السفر أسرع من الضوء، تنطبق فقط على الحركة داخل الفضاء، وليس حركة الفضاء نفسه. وبناء على ذلك، ليس ثمة تعارض هنا، حتى لو بدا هذا للوهلة الأولى. ويمكن وصف نتائج التمدد السريع للكون- بشكل أفضل - بالرجوع إلى رأى أينشتين عن الجاذبية. قبل أن يبلغ عمر الكون ١٠^-٣٥ ثوانٍ، يفترض أنه كان ثمة شكل

---

(١) دائرة نصف قطرها من انحناء (رياضيات). (المترجم)

ما من توزيع المادة (وسوف نرى فى التو بأن بنيتها الدقيقة لا تحدث فرقًا). وبسبب هذه المادة، فإن الزمكان، يجب أن يكون له شكل مميز. ولأجل المجادلة، افترض ذلك السطح المتماوج فى يسار (الشكل ٤-٨)، والذى يمثل هيئة الكون كشكل محدد، قبل أن يبدأ حدوث التضخم.



الشكل 8.4

ويمكنك أن تتخيل التضخم كامتداد مستمر من اللوحة، إلى أن يتجاوز حجمه الكون بأسره. ناهيك عن مدى التفاف السطح الأصلى، إذ عندما يتمدد إلى هذا الحد البعيد، فإن أى جزء من السطح سوف يماثل ذلك السطح المرسوم إلى يمين (الشكل ٤-٨)، وبمعنى آخر، فإنه بعد حدوث التضخم سوف يكون الكون مسطحًا، بغض النظر عن كيفية بدئه. وهذا التسطيح ليس مجرد حادثة عابرة، ولكنه نتيجة ضرورية لفيزياء التجمد، التى حدثت بعد $١٠^{-٣٥}$ ثوانٍ من ميلاد الكون بالانفجار الأعظم.

وعندما صدم (جث) الأوساط العلمية بهذه النظرية، أؤكد لك بأنه كان هناك العديد من الابتسامات والإيماءات! وهذا الحل لمشكلة المادة المفقودة (أو باستخدام مصطلح علماء الكون "مشكلة التسطيح")، مثال كامل للأناقة والجمال، اللتين ذكرتهما آنفًا. إن الكون مسطح، لأنه لا يمكن أن يكون غير ذلك. إن تسطيح الكون، هو الحالة الوحيدة التى تتناغم مع القوانين الأساسية، التى تتحكم فى التفاعلات بين الجسيمات الأولية. وبصرف النظر عن كيفية بداية الكون، سوف ينتهى به الأمر أن يكون مسطحًا. وهذه بحق فكرة رائعة.

والشيء المدهش الوحيد في التضخم، هو إلى أي مدى - على وجه الدقة - يريده من الكون أن يكون مسطحًا. إن كتلة الكون التي تم رصدها، يجب أن تعادل الكتلة الحرجة بدقة تبلغ جزءًا من 10^{-50} وهذا يعني أن معدل التجاوز الذي تسمح به النظرية لخطأ ما في الإحصاء لا يتعدى بروتونًا واحدًا لكل سنة ضوئية مكعبة، أي ما يعادل تقريبًا أميبا واحدة بالنسبة لمجرة كاملة تحتوي على ملايين النجوم، ولا ريب أن مثل هذه الدقة المتناهية من المرجح أن تظل خارج نطاق القدرة الإنسانية لتحقيقها، بيد أنها - من جانب آخر - تؤكد بما لا يدع مجالاً للشك، أن التنبؤ قطعي لا لبس فيه.

ومن ثم، فمع قدوم الكون المتضخم، أصبح لدينا - للمرة الأولى - اعتقاد نظري قوي، داعم ومؤيد للكون المسطح. وفي الواقع، فإن بعض الباحثين في هذا المجال يتحدثون بالفعل عن مدى "الحاجة" للتسطيح. وحقيقة أننا توصلنا حتى الآن إلى ثلاثين بالمائة من الكتلة الحرجة للكون، وتوقعنا أن نصل إلى مائة بالمائة باستخدام أحد مقاييس الثقة[1]، يجعل مشكلة اكتشاف الهوية الذاتية للمادة المظلمة، ذات أهمية بالغة. سوف أناقش في التو بعض الأفكار التي تبحث في هذا اللغز الكوني.

---

(١) مؤشر لمعرفة مدى الثقة في شيء ما بوضع أهداف يمكن تحقيقها. (المترجم)

الفصل التاسع

مكونات مرشحة للمادة المظلمة

(اجمع الشكوك المعتادة).

سطر مشهور من الفيلم السينمائى (كازابلانكا)

من الواضح أن المادة المظلمة تؤدى دورًا بالغ الأهمية فى كل من تطور الكون وبنيته، ولكن ما طبيعة مكوناتها؟ هل يمكن أن نقتنع بالفعل، بأننا نفهم الكون المحيط بنا، مع العلم بأن أكثر مكوناته انتشارًا - أى المادة المظلمة - غير معروفة لنا؟

حسن، إنه من الأسهل إذن التصريح بالمكونات التى لا توجد فى المادة المظلمة، بدلاً من الإدلاء بالمكونات التى توجد فيها بالفعل. إن طريقة استبعاد السلبيات، على الرغم من أنها لم تكن قط عملاً براقًا، فإنها عادة تكون جد مفيدة. وبالتالى، سوف نبدأ اعتباراتنا عن هوية المادة المظلمة، باستبعاد أكثر المكونات المرشحة وضوحًا. وفى نهاية الأمر، سوف نقرر بأنه أيًا كانت طبيعة المادة المظلمة، فإنها شىء - على الأرجح - لم تتم مشاهدته قط على كوكب الأرض.

المادة الباريونية(١)

إن نوى الذرات التى تشكل كل المواد التى نصادفها فى حياتنا اليومية، مكونة أساسًا من بروتونات ونيوترونات. وهذه الجسيمات دون الذرية، أعضاء فى فئة يطلق

(١) تنتمى إلى عائلة الجسيمات المركبة المحتوية على ثلاثة كواركات مثل البروتونات والنيوترونات. (المترجم)

عليها الفيزيائيون "الباريونات" (الجسيمات الثقيلة). وبالتالى، فإنك تسمع الفيزيائيين دائمًا يشيرون إلى "المادة الباريونية" وما يقصدونه هو مادة من نوع معتاد، تكون نوى ذراتها مكونة من البروتونات والنيوترونات. ما دامت أن المادة الباريونية هى مادة عادية وتحيط بنا من كل جانب، فإنه من الطبيعى أن نجرى عليها أبحاثنا بادئ ذى بدء، فى مناقشتنا حول المادة المظلمة. وهى الأكثر اعتيادًا، من بين كل "الشكوك المعتادة"، وليس ثمة وسيلة نستطيع بها أن نستبعد - تمامًا - إمكانية أن المادة المظلمة باريونية، على الرغم من أنه لأسباب سوف نشرحها توًا، فإن هذا ليس مرجحًا.

إن المادة المظلمة الباريونية، يمكن أن تتخذ أشكالاً متعددة، إذ يمكن أن تكون غازًا مكونًا فى معظمه من ذرات وجزيئات هيدروجين، وقد تكون جمع من أجرام فضائية فى حجم كوكب المشترى[1] تتخذ لها مدارًا فى الهالة المجرية. وقد تكون أقزام بنية (أى نجوم صغيرة التى لا يكاد يصدر عنها أى إشعاع) أو حتى ثقوب سوداء، وكثيرا من هذه الأجرام الفضائية يمكن أن توجد بسهولة فى مجرة الطريق اللبنى، دون أن نتمكن من رصدها وتتبعها. ويمكن لهذه الأجرام الفضائية أن تكون بالتأكيد الإجابة الأدنى أهمية للسؤال عن هوية المادة المظلمة.

إن أقوى دليل ضد الشكل الباريونى للمادة المظلمة، يقع فى المعوقات التى واجهت الكون، بتشكيل النوى الخفيفة بعد ثلاث دقائق من الانفجار الأعظم (انظر الفصل الثالث). سوف تتذكر أنه فى ذلك الوقت، كانت درجة الحرارة منخفضة إلى الحد، أنه إذا اتحد بروتون ونيوترون معًا لتكوين نواة، فإن الاصطدامات اللاحقة لن تكون قوية بما يكفى لتمزيقها إربًا، وكمية النوى الخفيفة - مثل الهيليوم - ٤[2] والديوتريوم[3] - فى الكون فى الوقت الحاضر، توظف كواحدة من الأدلة الرئيسية، التى تؤكد عن طريق البرهان، صحة نظرية الانفجار الأعظم كبداية للكون.

---

(١) يبلغ قطره حوالى ١٤٢,٨٠٠ كيلو متر عند خط استوائه. (المترجم)

(٢) أحد نظائر الهليوم وتتكون نواته من بروتونين ونيوترينوين. (المترجم)

(٣) نظير الهيدروجين له بروتون واحد ونيوترون واحد فى النواة. (المترجم)

ويعتمد معدل إنتاج النوى الخفيفة عند حد الثلاث دقائق بعد الانفجار الأعظم، على عاملين: درجة حرارة وكثافة المادة. وإذ تحدد درجة الحرارة مدى سرعة تحرك الجسيمات عندما تتصادم، ومن ثم ما إذا كانت النوى حديثة التكوين، ستظل متماسكة. كما سوف تخبرنا أيضاً هل سيترك البروتون بسرعة كافية، عندما يقترب من إحدى النوى، ليتغلب على قوة التنافر الكهربى، التى تنشأ بين جسيمين لهما شحنتان موجبتان. إذا تمكن البروتون من هذا، فالاصطدام بينه وبين النواة الخفيفة، سوف ينتج عنه نواة أكبر. أما إذا فشل البروتون، فإنه سوف يدفع بعيداً، ولن يحدث أى تغيير فى النواة الخفيفة. وتكون درجة الحرارة بمثابة الدليل لما يحدث عندما يقع الاصطدام.

وتحدد كثافة المادة مدى تكرار حدوث هذه الاصطدامات. ولو تكدست المادة للغاية، عند حد الثلاث دقائق بعد الانفجار الأعظم، فسوف تستمر الاصطدامات طوال الوقت، ومن ناحية أخرى، إذا كانت الجسيمات متناثرة نسبياً، سوف تقع الاصطدامات بمعدل أكثر ندرة، فى الحالة الأولى، ستنتج نوى كثيرة، أما فى الحالة الثانية فسيكون عددها أقل. وبناء على ذلك، فإن كثافة الجسيمات التى يمكنها أن تنتج نوى عند الاصطدام – وهذا ما أطلقنا عليه "المادة الباريونية" – ولا شك أنها أدت دوراً مهما فى تحديد كمية النوى الخفيفة التى كانت موجودة، بعد أن أصبح عمر الكون ثلاث دقائق.

ورأينا فى الفصل الثالث، أن الوفرة التى لوحظت فى كمية النوى الخفيفة، كانت جد قريبة مما تنبأت به نظريات الانفجار الأعظم. ولا ريب أن هذا يمثل دليلاً على صحة النظرية، بيد أنه يظهر أيضاً أن هناك تفاوتاً مسموحاً صغيراً، لتغير الأشياء. وإذا قمنا بزيادة الكثافة، بإضافة كمية هائلة من المادة المظلمة فى شكل باريونات، سوف ينتج عن ذلك ارتفاع معدل إنتاج النوى، وسوف تزيد القيم المتوقعة لمدى وفرة الهيليوم، لتتجاوز كل الحدود، التى تم تحديدها بالرصد. ولو أن الكون يتشكل من أجرام فضائية فى حجم كوكب المشترى تتخذ لها مداراً فى الهالات المجرية، فلا شك أن تكون النوى التى كونت هذه الأجرام الفضائية، قد أتت من مكان ما، وأن فترة تخليق النوى، فى الثلاث دقائق الأولى من عمر الكون هى المصدر الوحيد.

واتضح أن نواة الديوتريوم (بروتون واحد ونيوترون واحد) تقدم لنا مؤشراً رائعًا عن كثافات المادة، فى المراحل الأولى بعد الانفجار الأعظم. إن الديوتريوم صورة ثقيلة لنواة الهيدروجين المعتاد، وأحد مكونات ما يطلق عليه "الماء الثقيل". وبالنسبة لنطاق هذا الكتاب، فإن أكثر صفات الديوتريوم المميزة، هى أنه لم ينتج فى النجوم، على الرغم من أنه يمكن أن يحترق فى الأفران النجمية النووية، منذ أن تخلق أثناء الانفجار الأعظم[1]. وهذا يعنى أننا إذا وجدنا نواة ديوتريوم، فإننا نستطيع أن نتأكد، أنها جاءت إلينا مباشرة، من المراحل المبكرة من الانفجار الأعظم.

وليس الديوتريوم فى حاجة لأن ينتشر بين النجوم، إذ إن مياه المحيط أيضًا مصدر جيد له. وهذا التوفر من الديوتريوم يتيح الفرصة لظهور ما أطلق عليه (أرنو بنزياس) – الحائز على جائزة نوبل – "دراسة الفلك باستخدام مجرفة". إنك تتطلع إلى المواد فى كوكب الأرض، وتحدد مقدار الديوتريوم الموجود فيها، ثم تقدر استدلاليًا هذه الأعداد للكون بأسره.

وعندما يتم تنفيذ هذه العملية، سوف نجد أن هناك – تقريبًا – نواة ديوتريوم واحدة بالنسبة لكل عشرة آلاف نواة من الهيدروجين العادى، فى الكون. وهذا يعنى أنه بعد انتهاء تخليق النوى عند الثلاث دقائق من عمر الكون، لم يكن من الممكن وجود كمية أقل من هذه النوى. وبالتالى، فإن ذلك يضع تحديدًا لكمية المادة الباريونية فى الكون. وعند الانتهاء من إجراء الإحصاءات والحسابات بالكامل، نجد أن الوفرة – التى تم رصدها – للديوتريوم، تتطلب أن تكون المادة الباريونية فى الكون، أقل من عشرين إلى ثلاثين بالمائة، من كثافة المادة الحرجة، التى قمنا بتعريفها فى الفصل الثامن. ونفس هذه التحديدات يمكن استنتاجها من دراسة النوى الأخرى. ولأسباب فنية، يظهر أن أفضل (أى أقل) التحديدات للمادة، يمكن التوصل إليها، بالنظر إلى الكميات

(١) حتى أكون أكثر دقة، فإن الديوتريوم تخلق فى النجوم، ولكن ما إن تتكون نواته حتى تصطدم فى الحال تقريبا، بجسيم آخر وتتحول إلى نواة أثقل. (المؤلف)

الوافرة من "الليثيوم-٧"[1]، الذى اتضح أنه الأصعب قياسًا، ومن ثم، يكون الأقل فى التعرف عليه. إن القياسات على ليثيوم-٧، والتى اقترحناها توًا، سوف تظهر أن الحد قد يكون أقرب إلى عشرين بالمائة منه إلى ثلاثين بالمائة.

وهذه النتيجة بالغة الأهمية ومؤكدة، بمعنى أنه يمكننا أن نبحث فى إنتاج الديوتريوم من واقع اصطدامات البروتونات والنيوترونات فى مختبراتنا، ومن ثم، هناك ارتياب قليل عما حدث فيما يتعلق بالجانب الفيزيائى النووى من المشكلة. الشىء الوحيد الذى مازال موضع شك، هو كثافة المادة الباريونية، ومن أجل ذلك لدينا رقم تجريبى واحد - وفرة الديوتريوم والليثيوم التى تم رصدها - لربط الأشياء معًا. وبالتالى، فالنتيجة تكون ثابتة ومستقرة، مثل النتائج الأخرى التى نحصل عليها فى علم الكون.

عندئذ، يمكننا القول - بشىء من الثقة - إن الكمية الكلية للمادة الباريونية فى أرجاء الكون، لا يمكن أن تتجاوز نحو ثلاثين بالمائة من الكتلة الحرجة. وسوف تتذكر أننى أوضحت، فى الفصل الثامن، أنها تعادل - تقريبًا - كمية المادة المظلمة التى تم دعمها بالأدلة، والوثائق، حتى هذه اللحظة. وبناء على ذلك، فثمة احتمال ضئيل للغاية، أن تكون كل المادة المظلمة باريونية. ومع هذا، فيجب أن أقول هنا إننى أعتقد بأن وجهة النظر هذه، ليست نهاية المطاف.

خلال العقدين الأخيرين، كانت كمية المادة المظلمة التى أمكن توثيقها مستنديا، قد ازدادت بثبات، وفى نفس الوقت، انخفضت برتابة تلك التحديدات التى فرضت على الكتلة الباريونية، من واقع الدراسات عن النوى الخفيفة، وقتئذ، كانت القيمتان تقريبًا متساويتين، بيد أن الأمر لا يحتاج إلا دفعة واحدة، من أحد الجانبين حتى يصبحا مغايرين من حيث القوة والتأثير، عن بعضهما.

---

(١) أحد نظائر الليثيوم وتحتوى ذرته على ثلاثة بروتونات وأربعة نيوترونات وثلاثة إلكترونات لذلك فهو "بوزون" واللف المغزلى له عدد صحيح. (المترجم)

وما إن تزيد كمية المادة المظلمة عن التحديدات الموضوعة على المادة الباريونية، نكون مجبرين على التفكير فى الأشكال الأخرى التى يمكن للمادة المظلمة أن تتخذها. ولو أردنا أن نتناول الأمر بحذر، فإن شيئًا من الفطنة البسيطة، تفرض علينا أنه ربما حان الوقت، لنبحث بإمعان، فيما وراء المادة الباريونية، عن "مرشح" أكثر ملاءمة وترجيحًا دعنا نكون ميالين قليلاً إلى خوض المخاطر والمجازفات، ونتذكر كيف أن الكون المتضخم قدم لنا العون فى ترسيخ افتراض - لأول مرة - فى صالح تسطيح الكون. وفى الوقت الحاضر، هناك سبب نظرى بالإضافة إلى آخر جمالى وفنى، للاعتقاد بأن الكون - على نحو صحيح ودقيق - له كتلة حرجة. وإذا كان هذا حقيقيًا، عندئذ فإن على الأقل سبعين بالمائة من هذه الكتلة، يجب ألا تكون باريونية. وشعورى الشخصى بأنه من المرجح للغاية أن تكون للكون كتلة حرجة، وأن معظم أو كل المادة المظلمة ليست باريونية، بيد أن هذا لا يعدو أن يكون رأيًا شخصيًا، وربما تختار أن تختلف معى، ولكن آخذًا فى الحسبان، سوء التقدير الذى ينشأ عن المجادلات على كل جوانب المشكلة، فإننى لن أناقشك.

وثمة سبب ثان، للقول بأن المادة المظلمة ليست باريونية، قد ذكرت فى الفصل الرابع. وكما تذكر، فإن الكون الذى يتشكل بالكامل من المادة الباريونية، والذى يوجد فيه بنى هائلة الحجم وعلى نطاق واسع، سيكون إشعاعه الخلفى من الموجات الدقيقة متغيرًا. ما دام الإشعاع الخلفى لكوننا، متسق إلى حد كبير، وبالتالى، فإن بعض المادة المظلمة يجب أن تكون غير باريونية.

وأخيرًا، يمكنك أن تجادل ضد المادة المظلمة الباريونية، فإذا كانت الهالات المجرية من المادة الباريونية، فأى أشكال يمكن أن تتخذها المادة؟ يمكن أن تكون غازًا، أو ربما تكون شيئًا قد تماسك معًا كيميائيًا، مثل "كرات الثلج" من الهيدروجين المجمد، أو حبيبات غبار تتراوح فى الحجم، من المجهرى إلى حجم كوكب. وختامًا، لعلها نوع من الأجرام الفضائية تتماسك معًا بالجاذبية، مثل الأشياء التى فى حجم كوكب المشترى

(أى "كواكب" مكونة أساسًا من الهيدروجين والهيليوم) أو نجوم ميتة ("أرمدة خامدة" احترقت منذ زمن موغل فى القدم، وتوقفت عن إشعاع أى ضوء).

ومرشح آخر راسخ الجذور منذ زمن طويل، هو الثقوب السوداء، التى تتكون فى نهاية حياة النجم، ويمكن تصنيفها أيضًا كرماد.

وإذا كانت هالة المادة المظلمة المجرية عبارة عن غاز، فيجب أن تكون حرارتها مروعة لقوى الضغط لكى تتمكن من مقاومة قوى الشد إلى الداخل، بفعل الجاذبية. وفى مثل درجات الحرارة هذه، سوف يطلق الغاز الأشعة السينية، التى يمكن اكتشافها بسهولة، بمنظومات الأقمار الصناعية الحديثة. وما دامت الأشعة السينية غير مرئية، فالهالة المجرية إذن لا يمكن أن تكون غازًا.

ولن تستمر كرات الثلج المجمدة فى الفضاء: إذ لابد أن تجتاز عملية فيزيائية يطلق عليها "التسامى"، أى التحول المباشر من الحالة الصلبة للمادة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة. والتسامى هو ما يحدث طوال الوقت للجليد الجاف[1]، إن السحب المتلاطمة والموجات العارمة، التى يعشق ظهورها المخرجون سواء فى السينما أو المسرح، غالبًا تنتج عن طريق السماح لأكوام من الجليد الجاف بالتحول إلى غاز ثانى أكسيد الكربون، وتسامى جليد المياه، هو الذى يجفف الملابس المعلقة على الحبل، عندما تكون الحرارة، تحت درجة التجمد. ما دام هناك إمكانية لحدوث التسامى، فلا يمكن أن تكون الهالة المجرية عبارة عن كرات ثلجية، كما أنها ليست مكونة من حبيبات الغبار أو الصخور، لأنه إذا كانت هناك مادة ثقيلة كافية موجودة، لتشكيل مثل هذه الأجرام الفضائية عندما تكونت المجرات، فإن نفس هذه المادة يجب أن تكون مندمجة فى النجوم البالغة القدم. ويبلغ عمر هذه النجوم (التى يطلق عليها الفلكيون "الجمهرة الثانية") ما بين أربعة عشر وثمانية عشر بليون عام، وهى فقيرة للغاية فى العناصر

(١) ثانى أكسيد الكربون الصلب ويستخدم مادة مبردة. (المترجم)

الثقيلة. ونتساءل كيف يمكن أن تكون هناك عناصر ثقيلة فى الهالات المجرية، على شكل حبيبات غبار وصخور، ولا شيء من هذه العناصر الثقيلة فى النجوم؟

أما الأجرام الفضائية التى فى حجم كوكب المشترى، فثمة صعوبة أكبر إلى حد ما، فى استبعادها كأحد المرشحين للمادة المظلمة. لقد تكون كوكب المشترى بعملية كونية مشابهة لتلك التى شكلت الشمس، تكاثف لسحابة غاز تحت تأثير الجاذبية. والعقبة التى تواجه تكون الهالة المجرية من تلك الأجرام الفضائية، هو شرح كيف كان ممكنًا، لبلايين الأجرام الفضائية التى فى حجم كوكب المشترى أن تتشكل، ولكن – فى الحقيقة – دون تكون أى نجوم صغيرة. والفكرة الأساسية هى أن كوكب المشترى يقترب كثيراً من أن يكون نجمًا. ولو كان قد أضاف إلى كتلته مادة قليلة أكثر لاشتعلت النيران النووية فى داخله، ولأصبح نجمًا حتى لو كان صغير الحجم. ونتساءل: لماذا لا نرى أى آثار للنجوم الخافتة، التى تكون أكبر – بنسبة بسيطة – من الكواكب الضخمة؟ وماذا يمكن أن يكون السبب فى ذلك التباين الحاد فى حجم الأجرام الفضائية بالهالة المجرية؟ ونقص تلك الآلية، هى بمثابة مجادلة قوية ضد هذا النوع المعين من المادة المظلمة. كما أنها تعمل أيضًا كنقاش ضد فرضية الأقزام البنية. ما دامت الأقزام البنية فى الجانب الآخر تمامًا من كوكب المشترى، عند الخط الفاصل ما بين النجم والكوكب.

وأخيراً، فإن إمكانية "الأرمدة النجمية"، يمكن أن تستبعد بملاحظة أنه عندما يموت النجم، يصاحب موته – فى معظم الأحيان – قذف كميات هائلة من المادة إلى الفضاء بين النجوم. وليس ثمة دليل على أن تلك المادة المقذوفة، موجودة فى الهالة المجرية، ولهذا يمكن أن يتخذ هذا الأمر، دليلاً على أن الهالة ليست مكونة من رفات النجوم القديمة، إما كأرمدة خامدة أو كثقوب سوداء نجمية.

وكل هذه المجادلات، من تخليق النوى والبنى المروعة ذات الاتساعات الهائلة وصرف النظر عن الأشكال المتباينة من المادة البارونية، تشترك كلها فى خطأ شائع: لا أحد يمكن أن يستبعد تمامًا احتمالية أن تكون كل المادة المظلمة فى الكون باريونية. ومن ناحية

أخرى، أنها تجعل الأمر صعبًا بالفعل، للهروب من المصائد الخفية، فى كون كله من المواد الباريونية، وقد ابتكر الباحثون المبدعون (وما أكثرهم فى هذا المجال) مخططات معقدة يمكن بها تجنب كل المصائد الخفية التى يتم التوصل لها. وتحمل هذه المخططات أثرًا ضئيلاً مثل نفحة هواء عابرة، من "أفلاك التدوير"[١]، وهو جهاز استخدمه فلكيو العصور الوسطى، لتعديل نظرية بطليموس عن الكون، لتتوافق مع الأرصاد الفعلية. وربما استطاعوا تفادى كارثة لمدة معينة، إلا أنهم لم يقودوا إلى علم جديد. وعادة، عندما تكون الفكرة صحيحة، توضع الأمور فى نصابها، كما لو أنهم قاموا بذلك بأنفسهم، فليس ثمة حاجة إلى ابتكار مخططات، للتخلص من بيانات مركبة تعيق البحث.

وعلى سبيل المثال، ربما يتمكن أحد الباحثين من "تلفيق" مخطط، يضمنه كل أشكال المادة المظلمة الباريونية والتى ذكرناها آنفًا، وقد امتزجت كلها معًا، لتشكل الهالة المجرية. وربما يمكن للمرء أيضًا أن يعدل من النسب المتكافئة فيما بين الأنواع المتباينة منها، ليتجنب التضارب مع الأرصاد، ولكن ما الذى سوف تجده عندما تنتهى من بحثك؟ لا شىء يثير اهتمام أى شخص.

والسبب فى هذا بسيط. وكما بينت فى مناقشة النظرية النسبية العامة، بأن النظرية الناجحة فى العلوم، يجب أن تتميز برونقها وسحرها بالإضافة إلى قابليتها للتطبيق العملى. ونوع النظرية التى تخيلتها منذ برهة قصيرة لا تتناغم مع ذلك الاختبار المزدوج. وربما يمكن العمل بها، بيد أنها بغيضة للغاية ومنتهكة للقانون الطبيعى. وكما قال الفيزيائى (إنريكو فيرمى)[٢] "إنها لا تعد حتى الآن خاطئة". إن هذا النوع من الأشياء يلجأ إليه العلماء فقط كملاذ أخير، بعد أن يخفق فى العمل، كل شىء آخر، أمكنهم التفكير فيه. إذن، فلن يكون الأمر مثيرًا للدهشة، عندما نعلم بأن معظم الباحثين فى الوقت الحاضر، هجروا فكرة أن المادة الباريونية هى مقوم أساسى للكون، ووجهوا اهتمامهم إلى مكان آخر.

---

(١) فى فلك بطليموس هو دائرة صغيرة يتحرك مركزها على محيط دائرة أكبر مركزها الأرض. (المترجم)

(٢) فيزيائى إيطالى أمريكى (١٩٠١ - ١٩٥٤) حصل على جائزة نوبل فى الفيزياء عام ١٩٣٨. (المترجم)

ماذا عن النيوترينوات؟

وما إن تخليت عن فكرة المادة الباريونية، حتى تجد أن المرشح التالى للمادة المظلمة هو النيوترينو. ولا أقصد أن النيوترينو جسيم مألوف لنا، بمعنى أننا عرفناه من خلال تجربتنا الحياتية اليومية، بيد أنه جسيم عرفه الفيزيائيون منذ عقود من الزمن. وينتج النيوترينو فى العديد من المفاعلات النووية، التى تتضمن تلك المتأججة فى الشمس، والمشاركة فى العمليات الكونية أثناء فترة تخليق النوى خلال الانفجار الأعظم.

ولإعطائك فكرة تقريبية عن عدد النيوترينوات فى الكون، يمكننا استخدام "قاعدة الحدس"[١]: لو أن نيوترينو واحد موجود فى الوقت الحاضر، نتج عن كل تفاعل نووى حدث فى أى وقت مضى. تظهر الإحصائيات أنه ربما كان ما يقرب من بليون نيوترينو أنتج أثناء الانفجار الأعظم لكل بروتون، ونيوترون أو إلكترون، وكل حجم فى الفضاء بمقياس أبعاد جسمك، يحتوى على نحو عشرة ملايين من تلك النيوترينوات الغابرة، وهذا لا يدخل فى حسبانه، تلك النيوترينوات التى أنتجت مؤخراً فى النجوم.

ومن الواضح أن أى جسيم منتشر بهذا الشكل، يكون له - من حيث المبدأ - تأثير جوهرى على بنية الكون، إذا كانت له كتلة.

وقد افترض وجود النيوترينو فى الثلاثينيات من القرن العشرين، وفى النظريات التقليدية، أن النيوترينو جسيم يتفاعل بضعف شديد، مع أنواع المادة الأخرى. ولأنه ليس له كتلة، فإنه يرتحل بسرعة الضوء. ولمزيد من المعلومات عن النيوترينو لخدمة أغراضنا فى هذا الكتاب، فإن معنى أن كتلته صفر، أنه لا يمارس أى قوة تجاذبية. وبالتالى، فإذا كانت النظرية التقليدية صحيحة، فليس ثمة أهمية لعدد النيوترينوات التى يمكن أن تحوم حولنا فى الكون، إذ إنها لن تستطيع التأثير فى الظواهر الكونية،

---

(١) قاعدة فى الحكم على الأشياء، أو تقديرها، بالاستناد على ما يجول بالفكر وليس على أساس الفحص العلمى. (المترجم)

مثل التقلص التجاذبي في المجرات أو البنى الأخرى، مما يوحي بأن النيوترينو - على الرغم من الانتقادات الشديدة في النظرية التقليدية - ربما تكون له كتلة ضئيلة للغاية غير صفرية[1].

في هذه الحالة إذن، فإن ضرب حتى كتلة ضئيلة بالعدد الهائل للنيوترينوات في الكون، يمكن أن يكون حاصلها كتلة كلية للنيوترينو، تكون كبيرة إلى حد أنها تجلب كثافة الكتلة إلى قيمتها الحرجة. وسيناريو الكون الذي تسيطر عليه النيوترينوات، يمكن أن يأخذ الشكل التالي: إن النيوترينو هو أحد الجسيمات الذي تضعف تفاعلاته مع المادة كلما انخفضت درجة الحرارة. وهذا يعني أن النيوترينوات، سوف تتوقف عن ممارسة قوة (على المادة التي تم فك تقارنها) عن المادة العادية، قبل زمن طويل من قيام الإشعاع العادي بنفس هذا الدور. ووفق أفكارنا الحالية، فإن ذلك حدث بعد نحو ثانية واحدة من الانفجار الأعظم. وبعد هذا، تمددت النيوترينوات وبردت، وهكذا أنشأت نوعًا من صورة مرآة لإشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون.

وإحدى الطرق التي يمكن بها تفسير عملية فك تقارن النيوترينو، القول بأنه يحدث عندما يرتحل النيوترينو، خلال المادة، حيث إنه من غير المحتمل أن يتفاعل مع تلك المادة. وثمة عاملان يؤثران على تلك الاحتمالية: كثافة المادة (التي تخبرنا كم مرة تقترب النيوترينوات من الجسيمات الأخرى) وكذلك احتمالية أن يقترب النيوترينو من جسيم آخر، وحدوث تفاعل بينهما. وعندما كان عمر الكون ثانية واحدة، كانت درجة الحرارة منخفضة إلى الحد أن سقطت هذه الاحتمالية الأخيرة، وشكلت النيوترينوات سحابة ممتدة وباردة، لم تعد تتفاعل مع المادة العادية. ولو كانت للنيوترينوات كتلة ضئيلة، عندئذ يمكن لها أن تتكتل بقوة معًا تحت تأثير الجاذبية بعد هذه الفترة الزمنية،

---

(١) تنطوي على قيمة أخرى - مهما كانت ضئيلة - غير الصفر. (المترجم)

وتشكل تركيزات جاهزة مسبقًا فى كل أرجاء الكون، حيث تتشكل عندها المجرات فيما بعد. وبناء على ذلك، سوف يبدو لنا أن النيوترينو الثقيل[1] - إذا كان موجوداً - مرشح مثالى كأحد مكونات المادة المظلمة.

ومع هذا، إذا كانت للنيوترينوات كتلة ضئيلة، سوف ترتحل بسرعة قريبة من سرعة الضوء، عندما يفك تقارنها. وهذا يعنى أنها سوف تكون ذلك النوع من المادة المظلمة التى أطلقنا عليها صفة "ساخنة". ومن ثم سوف تقودنا إلى نظرية للكون يطلق عليها "من أعلى إلى أسفل"، وكل المجادلات التى ثارت ضد المادة المظلمة الساخنة فى الفصل السابع، يمكن أن تستدعى لتعترض عليها.

وبالإضافة إلى هذا، فثمة مجادلات أكثر تفصيلاً التى يمكن إثارتها ضد النيوترينوات الثقيلة، كمرشحات للمادة المظلمة. وهذه المجادلات، وأخريات شبيهة بها، قد دفعت بمعظم علماء الكون، إلى الابتعاد عن فكرة اعتبار أن النيوترينوات الثقيلة، مرشحات للمادة المظلمة. ويبدو هذا مقنعًا للغاية، ولكن ينتابهم الضعف إذا وجهوا بالسبب الأكثر أهمية، لرفض هذا الافتراض.

وإذا نظرنا إلى الأمر بأقصى بساطة ممكنة، نجد أنه ليس ثمة دليل جلى لا مجال للشك فيه، أن النيوترينو ليست له أى كتلة أخرى، إلا الصفرية. وقد يبدو لك أن الأمر غريب، أن بعد كل هذا الجهد الذى بذل على فكرة لم يتم التحقق من صحتها أولاً فى المختبرات، بيد أن قصة النيوترينو الثقيل، أكثر تعقيداً من هذا. وفى الواقع، يعد ذلك صورة إيضاحية جيدة والتى أمكننى الحصول عليها للطريقة التى تعمل بها آلية البحث العلمى، لاستبعاد النتائج غير الصائبة. إذن، قبل أن نستمر فى بحثنا، أود أن أستطرد قليلاً وأخبرك عما يحلو لى أن أطلق عليه "طفرة النيوترينو الثقيل".

---

(١) أى الذى له كتلة حتى لو كانت ضئيلة للغاية. (المترجم)

الفصل العاشر

طفرة النيوترينو الثقيل

(مهما حاولت أن تطلى الفارزنج[1] بالذهب، فإنه سوف يبقى فارزنجًا كما هو).

من مسرحية "هـ.م.س بينافور أو الفتاة التى أحبت البحار" (١٨٧٨)

وضع موسيقي المسرحية سوليفان وجيلبرت

تقليديًا، يعقد اجتماع الربيع للجمعية الفيزيائية الأمريكية (جمعية الفيزيائيين الخبراء) فى واشنطن دى.سى. ومع بعض التطورات غير المتوقعة للأرصاد الجوية، فإن هذا الاجتماع يقام دائمًا بعد أسبوع من إزهار الكرز، حيث يحيل المدينة إلى مشهد رائع يصلح كصورة خلابة فوق بطاقة بريدية. وكان لاجتماع عام ١٩٨٠، أهمية خاصة بالنسبة لى، إذ إننى اصطحبت معى للاجتماع ابنى الأكبر – الذى أصبح فيما بعد مديرًا لمدرسة ثانوية – لكى يطلع على عالم العلوم. كان فى ذلك الوقت مرتبطًا بإحدى الجامعات، ويفكر جديًا فى أن يصبح فيزيائيًا، ومن ثم، كان أمرًا منطقيًا أن أجعله يحضر هذا الاجتماع. والآن أتعجب عما إذا ما رآه هناك، لم يؤثر على قراره فيصبح اقتصاديًا بدلاً من فيزيائى! ويفكر الفيزيائيون فى هذا الاجتماع تحديداً، على أنه "اجتماع النيوترينو الثقيل". والحدث الكبير هو ذلك التصريح الذى أعلنته جماعة

---

(١) عملة معدنية قيمتها نحو ربع بنس يرجع تاريخها إلى القرن الثالث عشر الميلادى وكانت من الفضة. (المترجم)

الباحثين التجريبيين من جامعة كاليفورنيا فى إيرفين، أن لديهم قياسات تدل على أن النيوترينو – الجسيم الذى اعتقد معظم الفيزيائيين بأن كتلة صفر – بالفعل يزن شيئًا[1] ما. كانت هذه الأنباء مثيرة لسببين: أولاً، أن الباحث الذى أعلن التصريح هو "فريدريك رينز"، الذى كان أحد مكتشفى جسيم النيوترينو فى عام ١٩٥٦. وثانيًا، لو كان النيوترينو بالفعل بالثقل الذى أعلنته جماعة الباحثين التجريبيين، عندئذ يكون هو الجسيم الذى "يغلق" الكون؛ أى الكتلة المفقودة التى طالما جد العلماء فى البحث عنها طويلاً. وما أن اقترب موعد التصريح، حتى اتضح أن الإشاعات التى تسربت من الاجتماع، حققت نتائج. لقد كان مستحيلاً على أى فرد يريد أن يستمع لبحث (رينز) أن يجد مكانًا فى الحجرة المخصصة لهذا، ومن ثم كان هناك تأخير بسبب انتقال الجلسة لقاعة مخصصة للاحتفالات أكبر حجمًا، وحيث إنه لم يتسع الوقت لإحضار آلة عرض الشرائح المنزلقة، فقد اضطر (رينز) لإبلاغ الصحفيين الحاضرين شفهيًا بأسماء جماعته من الباحثين، وكان عليه أيضًا أن يشرح معادلاته الرياضية بالكلمات، ويكتبها فى الهواء بأصابعه. وكانت التجربة التى أجراها مسألة صعبة، وتعددت الأسباب التى يمكن أن تؤدى إلى فشلها. بيد أنها لو كانت صحيحة، فمعنى ذلك أن واحدة من "الحقائق" التى تم قبولها على نطاق واسع فى الفيزياء الحديثة، كانت خاطئة.

ولكى نفهم لماذا ازدحمت الكثرة الكبيرة من الفيزيائيين فى قاعة الاحتفالات تلك، ذات يوم ربيعى رائع فى واشنطن، عليك أن تعرف بعض المعلومات عن جسيم النيوترينو. لقد اقترح وجوده لأول مرة فى الثلاثينيات من القرن العشرين، عندما كان الفيزيائيون يدرسون التفاعلات التى لاح فيها شىء ما ذو نقائص، فعلى سبيل المثال، كانت هناك – أحيانًا – طاقة أكبر موجودة قبل التفاعل عما بعده. واقترح النيوترينو

---

(١) يمكن أن تجد القصة الكاملة لتاريخ النيوترينو والصفات المميزة له فى كتابى "من الذرات إلى الكواركات" From Atoms To Quarks. (المؤلف)

("ويعنى الجسيم المتعادل الصغير")، كوسيلة لرأب الصدع وترميم الأشياء. ولم يتمكن العلماء من اكتشاف هذا الجسيم الافتراضى بذاته، بيد أن نشاطه تضمن التخلص من الطاقة الزائدة وحملها بعيداً، وكذلك الأشياء الأخرى التى بدت أنها مفقودة فى التفاعل. وهذا الموقف يفترض أنه يشبه موقف حارس المنزل، عندما يسرق لص شيئًا ما من البيت، أثناء غياب مالكه. إنه يعرف بأن شخصًا ما كان فى البيت، لأن شيئًا ما فقد، بيد أن اللص لم يره أحد.

مرت عشرون عامًا قبل أن تصبح منظومات الكشف لدينا، حساسة بما يكفى، لتجد دليلاً مباشرًا أن النيوترينو موجود (وكان هذا فى تجربة العام ١٩٥٦ التى ذكرت آنفًا). وفى الواقع، فإن النيوترينو جسيم مراوغ، ولو دخل أحدها اليوم فى قضيب من الرصاص الصلب، فيمكن بسهولة أن يبزغ من القضيب بعد أربع سنوات من الآن، فى النجم "ألفا قنطورس" دون أن يحدث اضطرابا واحداً فى أى ذرة، لترسم طريقًا لمساره. وعلى الرغم من ذلك الإحجام عن التفاعل مع المادة، فإن النيوترينوات تنتج ويتم قياسها بانتظام فى مختبرات المعجلات. وفى الإلكترونيات الحديثة، ليست هناك صعوبة فى اكتشافها، كما كان يعتقد من قبل. ومع ذلك، ثمة حقيقة مهمة عن النيوترينو، أن وجوده افترض، قبل أن يعثر عليه بالفعل.

وليس للنيوترينو شحنة كهربية، ولو كانت له شحنة لتم اكتشافه فى الثلاثينيات من القرن العشرين. ولابد أنه خفيف للغاية، وإلا لظهرت دلالة على وجود كتلته، والتى يمكن رؤيتها فى سلوك الجسيمات التى يتركها خلفه. بيد أن جسيما خفيفا – له كتلة ضئيلة – ليس مثل جسيم آخر كتلته صفر. وحتى وقت قريب جدا، إذا سألت فيزيائيًا لماذا يعتقد بأن النيوترينو كتلته صفر، ربما سوف تكون إجابته "ولم لا؟". وليس ثمة دليل يبرهن على أن كتلة النيوترينو قيمتها أكبر من صفر، والصفر رقم دائرى لطيف وجذاب، من السهل تذكره واستدعاؤه من الذهن. ولو كان كل شىء يعمل مع نيوترينو بلا كتلة، فلماذا تثار المتاعب غير محققة النتائج؟

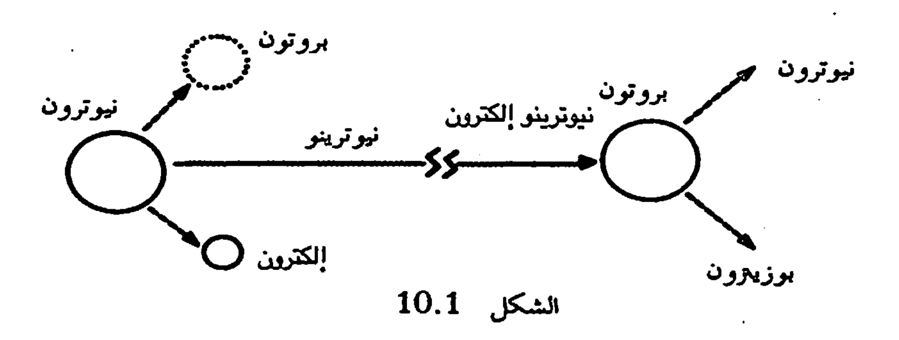
ولكن درب الفيزيائيون على أن يكونوا متفتحى الذهن للأفكار الجديدة. فإذا قدم أحد الأشخاص دليلاً يؤكد صحة شيء ما، سبق أن ساد الاعتقاد بأنه غير متسق مع الحقيقة والواقع، فعلى كل الفيزيائيين الآخرين تفحص هذا الدليل بعناية فائقة.

وهذا ما يحدث تماماً فى حالات مثل النيوترينو الذى يفترض أن كتلته صفر، حيث لا يوجد - فى حقيقة الأمر - مبرر راسخ للتمسك بالاعتقاد التقليدى السائد. وفى الواقع، ثمة وسائل متباينة تجريبية للتحقق مما لو كان للنيوترينو كتلة أم لا. إحدى هذه التجارب تلمح إلى المثال الذى أوردناه عن لص المنازل، إذ يمكن للشرطة أن تجد الكثير من الأدلة عن اللص، بالتفحص الدقيق لمسرح الجريمة. وينطبق هذا أيضاً على إيجاد دليل عن الكتلة الصفرية للنيوترينو، بالتفحص الدقيق للجسيمات التى تدخل فى التفاعلات التى تشارك فيها النيوترينوات. سوف نلقى نظرة إلى بعض من هذه التفاعلات لاحقًا. وثمة وسيلة ثانية لإثبات كتلة النيوترينو تتضمن عملية فيزيائية يطلق عليها "الخلط". ولتفهم هذه العملية، عليك أن تعرف حقيقة واحدة أخرى عن النيوترينوات، وملمح واحد لميكانيكا الكم[1].

والحقيقة هى: هناك أكثر من نوع من النيوترينو. وقد تمكن الفيزيائيون من رؤية نوعين فى المختبر، وتخبرنا النظرية أنه لا بد من وجود نوع ثالث أيضًا، ربما يكون أكثر ندرة. وتتمايز تلك النيوترينوات الثلاثة عن بعضها، بالتفاعلات التى أدت إلى تشكلها، وكذلك بالتفاعلات التى تباشرها عندما تتفاعل مع المادة (على الرغم من أن هذا لا يحدث غالبًا). وعلى سبيل المثال، فقد أظهرنا - فى (الشكل ١-١٠) اضمحلال نيوترون. إن النيوترون - وقد ترك لشأنه - سوف يحول نفسه تلقائيًا بلا سبب خارجى، إلى بروتون وإلكترون ونيوترينو. ولأنه أنتج بالارتباط مع إلكترون، فقد أطلق عليه "نيوترينو إلكترون"[1] وإذا صادف النيوترينو إلكترون بروتونًا، فيمكن له أن يستهل

(١) نظرية فيزيائية رياضية للمادة والإشعاع الكهرومغناطيسى والتفاعل بينهما. (المترجم)

تفـاعـلاً، وفـيـه ينتج - كـمـا هو واضح فى الشكل - نيـوترون وإلكتـرون مـضـاد (أى بوزيترون). وبمعنى آخر، فإن هذا النيوترينو يرتبط دائمًا بالكترون، سواء عند إنتاجه أو تدميره.



الشكل 10.1

وترتبط الأنواع المختلفة من النيوترينوات باللبـتـونات[٢] الأخرى. ونحن نـعلم أنه بالإضـافة إلى الإلكترون (الذى يعد لبتونا هو الآخر)، ثمة نوعان آخران من اللبتونات يطلق عليهما "ميون وتاو الميزونات"[٣]. ونعتقد بأن هناك ثلاثة أنواع من النيوترينوات فى الكون، يرتبط كل واحد منها بأحد هذه اللبتونات.

فى هـذا الموقف، تقترح قوانين ميكانيكا الكم احتمالية مثيرة للاهتمام. فكر مليًا - بادئ ذى بدء - فى هذه المقارنة المبنية على التشابه الجزئى: افترض جدلاً أن أمامك

---

(١) سـوف يدرك القراء أن هذا الجسـيم فى الشكل هو فى الواقع نيوترينو مـضـاد، والصـفـة الفـارقـة بين النيوترينو والنيوترينو المضاد، ليست ذات أهمية لأغراضنا فى هذا الكتاب. (المؤلف)

(٢) اللبتونات: جسيمات أولية ذات كتل صغيرة مثل الإلكترون. (المترجم)

(٣) الميون: جسيم أولى له شحنة سالبة وهو المثيل الثقيل للإلكترون.

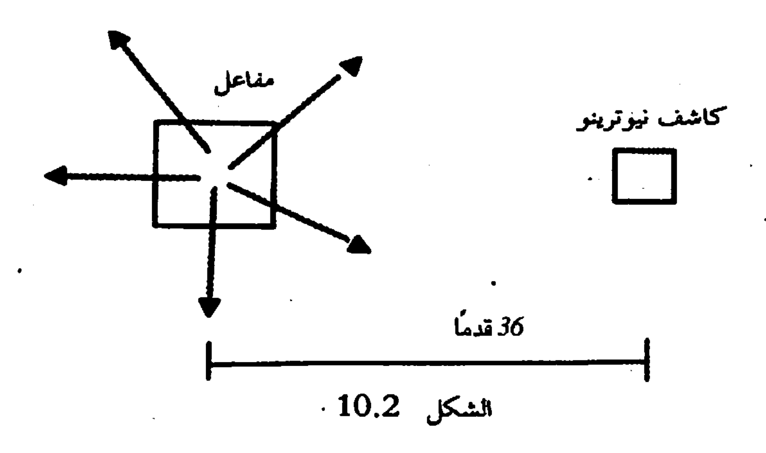
والتاو: جسيم يحمل شحنة سالبة يدخل فى التفاعلات الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة.

والميزونات: جسيم من الجسيمات الأساسية ذات كتل سكونية مختلفة، منها ما هو ذو شحنة كهربية موجبة ومنها ما هو ذو شحنة كهربية سالبة وما هو فى حالة تعادل. (المترجم)

امتـدادًا لثـلاثة ممرات مـحـددة فى طريق رئيـسى عـام، الذى يمكن أن تدخل إليـه السـيارات من خلال ممر مـحـدد واحد. فـإذا كنت تقف بالقرب من بداية هذا الطريق الرئيسى العام، سوف تقول بأن كل السيارات تشترك فى الصفة المميزة بأن تكون عند ممر الدخول، وبأنه لا يوجد إلا نوع واحد من السيارات. ومع هذا، عندما يمر الوقت، سوف تبدأ حركة المرور العادية، فى دفع السيارات إلى الممرين الخاليين. ستتحرك سيارة واحدة لتمر، وسوف تسرع أخرى لتتحرك فى الممر المحدد الخارجى، وهلم جرا. وفى نهاية الأمر، ستتوزع السيارات بالتساوى فى كل الممرات المحددة الثلاثة. وسوف يقول شخص ما، يقف على بعد عدة أميال من منحدر المدخل الذى يربط الممرات الثـلاثة، بأنه كـان يوجـد هناك ثلاثة أنواع من السـيارات، كل نوع يمر فى واحـد من الممرات الثلاثة.

وتحت ظروف معينة، يمكن أن يسلك شعاع من النيوترينوات، بنفس طريقة خط السيارات المتحرك القادم. ومجموعة من النيوترينوات المضمحلة بمقدورها أن تنشئ شعاعًا من نيوترينوات الإلكترون الخالصة. ومع تقدم هذا الشعاع عبر الفضاء، يمكن للنيوترينوات أن تبدأ فى التغير إلى الأنواع الأخرى منها، تمامًا كما بدأت السيارات فى تغيير مواقعها فوق الممرات. وفى نهاية الأمر، سوف تتحصل على شعاع مكون من أعداد متساوية من الأنواع الثلاثة، تمامًا كما أن السيارات تشغل - أخيرًا - كل الممرات فى الطريق الرئيسى. ووفقًا لميكانيكا الكم، فهذا الخلط المعين بين أنواع النيوترينوات، يمكن أن يحدث فقط، إذا كانت كتل النيوترينوات متباينة، أى لو أن نيوترينو الإلكترون له كتلة مختلفة عن نيوترينو الميون، الذى - بدوره - تكون كتلته مختلفة عن نيوترينو التاو. ومع هذا، لو كانت الصورة التقليدية صحيحة، وكل النيوترينوات الثلاثة كتلتها صفر، عندئذ فلا مجال لحدوث الخلط، وسوف يكون لدينا طريق سريع به ثلاثة ممرات محددة، حيث لا يمكن لأى سيارة أن تغير الممر الذى تسير فيه. ومن ثم، فإن دليل الخلط بين أنواع النيوترينوات، هو أيضًا دليل على الكتلة اللاصفرية للنيوترينو. وإذا حدث الخلط بالفعل، عندئذ - على أقصى تقدير - فإن

واحداً من أنواع النيوترينوات يمكن أن تكون له كتلة صفرية. ويجب أن يكون الأعضاء الآخرين فى مجموعة الخلط، لها كتل أخرى غير الصفر. ويشرح ذلك الفكرة الأساسية للتجربة، التى تم الإعلان عنها فى اجتماع واشنطن. وقد تم وضع مخطط التركيب والبنية الفيزيائية لها فى الشكل (٢-١٠) . والنيوترينوات التى خلقت بالتفاعلات النووية فى مفاعل بحثى، تدفقت فى كل الاتجاهات، ولم يستطع أى شىء إيقافها، وما عدة أقدام من الإسمنت مقارنة بسنة ضوئية من الرصاص؟. وبين فترة وأخرى متباعدة، يبدأ أحد النيوترينوات تفاعلاً فى مكشاف[١] يقع (فى حالتنا هذه) على بعد نحو ستة وثلاثين قدمًا[٢] من مركز المفاعل. والجسيمات الناتجة عن هذا التفاعل يتم تتبعها ودراستها، ويستنتج منها وجود النيوترينو.



الشكل 10.2

كل العمليات التى تجرى فى المفاعل النووى، شبيهة باضمحلال النيوترون والتى أوضحناها من قبل فى الشكل (١-١٠) إن تلك العمليات لا تنتج إلا نيوترينوات الإلكترون فقط. وبالمثل، فإن كل العمليات التى تجرى فى المكشاف شبيهة بما هو

(١) عداد جسيمات أولية فى مراكز الأبحاث خاصة معجلات الجسات دون الذرية. (المترجم)

(٢) القدم يساوى ٣٠,٤٨ سنتيمترا. (المترجم)

موضح إلى اليمين فى الشكل (١-١٠)، وهى لا تبدأ إلا بنيوترينوات الإلكترون فقط من المفاعل، ولا يمكن "رؤية" إلا نيوترينوات الإلكترون فى المكشاف.

ولو كانت وجهة النظر هذه - المقبولة - صحيحة، وأن كل النيوترينوات بلا كتلة، عندئذ، لن تكون هناك أية صعوبات تواجهنا. إذ إن كل نيوترينو إلكترون ينتج فى المفاعل، سوف يظل كما هو "نيوترينو إلكترون"، عندما يمر عبر المكشاف وتلوح له الفرصة لكى يبدأ تفاعلات. بيد أنه لو كان لبعض النيوترينوات كتلة ما، عندئذ سوف يحدث الخلط بين المفاعل والمكشاف. ولنتحدث مجازيا، سوف تغير بعض النيوترينوات ممراتها المحددة. ويعنى هذا بالتالى، تناقص عدد الجسيمات التى يتم اكتشافها، لأنه على الرغم من أن العدد الكلى للنيوترينوات - التى تتدفق عبر المكشاف - لن تتغير، فإن العدد الذى يبدأ التفاعلات - أى عدد نيوترينوات الإلكترون التى تتم مراقبتها - سوف يتناقص. وفى مثالنا عن الطريق الرئيسى العام، فهذا مساوٍ فى المعنى للتصريح بأن عدد السيارات التى تسير فى الممر الأول، سوف يتناقص عندما يمتلئ الممران الآخران بالسيارات. وما وجدته مجموعة "إيرفن" فى تجربتهم، أن عدد النيوترينوات الناتجة، والتى أمكن تتبعها على بعد ستة وثلاثين قدمًا من مركز المفاعل، كان أقل من العدد الذى أوضحته إحصائياتهم، عن النيوترينوات التى تغادر المفاعل. وقد فسروا هذا دليلا لتلك الطريقة من الخلط بين أنواع النيوترينو، التى كنا نناقشها، وهذا ما يطلق عليه "تذبذب[1] النيوترينو"، فى المصطلحات الفيزيائية. ما دامت التذبذبات من النيوترينو، فقد اتخذ هذا دليلاً على أن النيوترينوات ليست بلا كتلة، كما اعتقد من قبل.

لقد كان هذا اقتراحًا بالغ الأهمية. إننا نعرف أنه فى التاريخ المبكر للانفجار الأعظم، كان هناك العديد من التفاعلات النووية، وأنتج الكثرة الكبيرة منها جسيمات النيوترينوات، كمنتج فرعى، تمامًا كما فعل اضمحلال النيوترون. ولهذا السبب، يفترض

(١) تغير دورى فى طاقة منظومة آلية أو كهربائية أو ذرية. (المترجم)

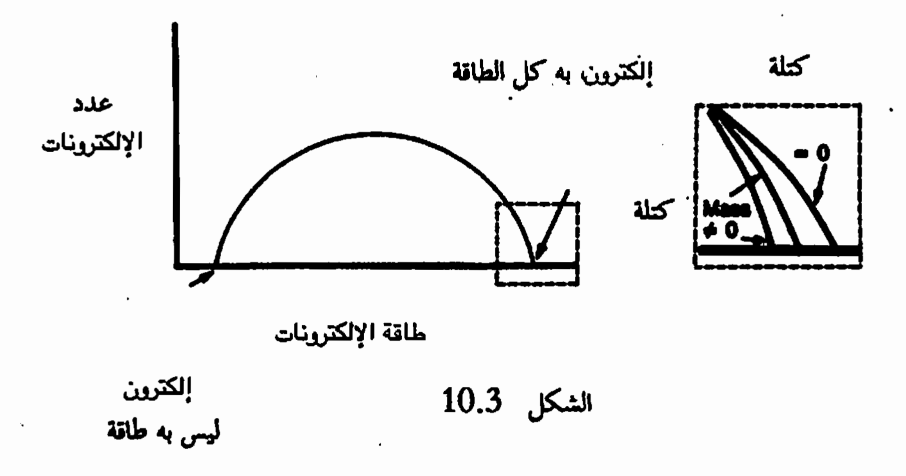
أن هناك أعداداً هائلة من النيوترينوات هناك، ربما يصل عددها إلى مائة مليون لكل جسيم عادى ثقيل. وإذا كان لكل نيوترينو كتلة - حتى لو كانت ضئيلة للغاية - فإنها سوف توفر مادة كافية لغلق الكون. وبناء على ذلك، ففى عصرنا الحديث، عندما يحذر الفيزيائيون المحافظون، من أن نتائج تجارب "إيرفن"، يجب أن يتعامل معها بارتياب، حتى يتم التأكد من صحتها ودقتها من المختبرات الأخرى، التى يبذل فيها علماء الكون، قصارى جهدهم، لتفسير مشكلة المجرات ووجود المادة المظلمة، عن طريق "كتلة" النيوترينو التى تم التوصل إليها حديثا. وكانت معظم المجادلات ضد النيوترينو كمكون وحيد للمادة المظلمة (انظر الفصل التاسع) قد احتدم خلال ذلك الحماس والاندفاع الذى تلى اجتماع واشنطن.

ومن المهم أن نتذكر أنه على الرغم مما يوحى به اكتشاف التذبذبات فى حزمة النيوترينو، بأن له كتلة، فإنه لا يخبرنا ما هى هذه الكتلة. وتنسب السرعة التى تغير بها النيوترينوات مساراتها فى الحزمة، إلى الاختلاف فى الكتلة بين النيوترينوات المتباينة. وبقدر تشابه هذا الاختلاف، ستكون التذبذبات متماثلة، بصرف النظر عما إذا كان للنيوترينو كتلة تساوى جزءاً من مليون من الإلكترون، أو كتلة فيل!

ويخبرنا ذلك، لماذا كان لتصريح من معهد الفيزياء التجريبة والنظرية فى موسكو (روسيا الاتحادية) - الذى صدر بعد اجتماع واشنطن بعدة أشهر - مثل هذا الدور البالغ الأهمية فى قصة النيوترينو. إذ ظلت جماعة من العلماء هناك تعمل بتأن لأكثر من عقد لتحديد كتلة النيوترينو، مستخدمين مقاييس متناهية الدقة، للتعرف على ما أزاحه النيوترينو من التفاعلات التى شارك فيها، وهذا ما أطلقت عليه آنفا "تقنية لص المنازل".

وكان المخطط ما يلى: عندما يضمحل النيوترون، كما هو موضح فى الشكل (١-١٠)، فإن الطاقة تحملها بعيداً الثلاثة جسيمات الناتجة. وإذا أخذت الإلكترون فقط بعين الاعتبار، فيمكن أن يكون له المدى الكامل للطاقات، على طول الطريق من الصفر

(عندما يحمل البروتون والنيوترينو كل الطاقة) إلى الطاقة القصوى الممكنة فى العملية (عندما يحمل الإلكترون كل الطاقة)، عندئذ سوف يتم تصويره كمنحنى مثل ذلك الموجود إلى اليسار فى الشكل (٣-١٠) وفى معظم الحالات، سوف تتقاسم - تقريبًا - الجسيمات الثلاثة الطاقة. وأحيانًا فقط يحمل الإلكترون معظم الطاقة، وذلك الجزء من المنحنى، حيث يحدث هذا الأمر، موضوعا فى إطار مربع داخل الشكل.



الشكل 10.3

والآن. إذا تأملنا عن كثب فى الموقع الذى به إطار المربع، يمكننا أن نتعلم شيئًا عن كتلة النيوترينو، ذلك أن هذه الكتلة هى أحد الأشياء التى تحدد الطاقة القصوى التى يمكن للإلكترون أن يحملها. ويحدد الطاقة الكلية المتوفرة فى التفاعل، الاختلاف فى الكتلة بين النيوترون الأولى، وكتل الجسيمات الثلاثة النهائية. وهذا الاختلاف فى الكتلة تبعًا للمعادلة (ط = ك × س٢)[١]، يخبرنا كم تبلغ كمية الطاقة التى يمكن للجسيمات حملها فيما بينها. وإذا كان النيوترينو كتلة، فإن مقدار الطاقة المتاحة للجسيمات الأخرى، سوف تنخفض بما يعادل هذه الكتلة. وبالتالى، فإذا كانت للنيوترينو كتلة، فإن عدد الإلكترونات فى موقع الإطار المربع، سوف يتساقط أسرع مما

---

(١) الطاقة تساوى حاصل ضرب الكتلة فى مربع سرعة الضوء. (المترجم)

لو لم تكن للنيوترينو كتلة. وهذا موضح إلى اليمين فى الشكل (٣-١٠) وبملاحظة إلى أى مدى ينخفض عدد الإلكترونات، مع زيادة طاقة الإلكترون، يمكنك أن تعرف ليس فقط عما إذا كانت للنيوترينو كتلة غير صفرية، بل أيضًا تستطيع أن تحدد ماهية هذه الكتلة.

وقبل أن أخبرك بما أعلنته المجموعة الروسية، يجب أن أتحدث عن الوحدات التى تقاس بها كتلة النيوترينو. الإلكترون فولت (رمزه eV) وحدة لقياس الطاقة، وهى كمية طاقة الحركة التى يكتسبها إلكترون وحيد غير مرتبط عند تسريعه، بواسطة جهد كهربائى ساكن قيمته فولت واحد فى الفراغ. وعلى سبيل المثال، عند تسريع إلكترون من أحد قطبى بطارية سيارتك إلى القطب الآخر، يتطلب اثنى عشر إلكترون فولت من الطاقة، ما دامت الكتلة والطاقة متكافئتين، فمن الممكن قياس الكتل بالإلكترون فولت، وهو تطبيق بسيط لمعادلة الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

وعلى سبيل المثال، فإن كتلة الإلكترون حوالى ٥٥٠,٠٠٠ إلكترون فولت، بينما أن كتلة البروتون ٩٣٩ مليون الكترون ولت (MeV) وتبلغ كتل النيوترينوات - التى نحن بصددها - فى حدود تتراوح ما بين صفر و ٥٠ إلكترون فولت، أى نحو ١٠٠,٠٠٠ مرة أخف من الإلكترون ذاته.

وما أعلنه الروس هو: وفقا لبياناتهم، كتلة النيوترينو هى أقل من ٤٦ إلكترون فولت (eV)، ولكنها أكبر من ١٤ إلكترون فولت (eV) وكانت النقطة ذات الدلالة، أن هذه الكتلة لا يمكن أن تكون صفرًا. ودعم دليل "إيرفين" عن التذبذبات، هذا التصريح الروسى المعلن بأن النيوترينوات ربما كانت هى المكون الرئيسى للمادة المظلمة. بيد أن الفيزيائيين مجموعة من المشاكسين المحبين للجدال. وعادة ما ينظرون إلى أى اكتشاف جديد مثل كتلة النيوترينو اللاصفرية كهدف يصوبون نحوه انتقاداتهم. وليس كتقدم علمى. وأول شىء يحتمل أن يسأل عنه التجريبيون هو "ما الذى يمكن أن يخدعك لتفكر أنك حققت إنجازًا ما، بينما أنك - فى واقع الأمر - لم تحقق شيئًا؟". وإننى على يقين، بأن أى مجموعة من العلماء، لن تأخذ هذا السؤال بجدية أكثر من الفيزيائيين

التجريبيين: ولن يعمل أى منهم بقوة وطاقة كبيرتين، ليدحض النتائج التى توصلوا إليها، ولا أحد سوف يخضع نتائج الآخرين إلى مثل هذا الهجوم المضاد، وبالطبع لا يتم هذا بشكل شخصى، فمعظم الفيزيائيين يتعاونون معًا، مثل أى مجموعة أخرى من المهنيين الخبراء. وينظر إلى الصراع - ببساطة - على أنه أكثر الطرق كفاءة لتقدم العلم. ولن يقبل شىء إلا إذا خضع لنقد جماعى مضن. ولن يمكنك فهم الخطوة التالية فى قصة النيوترينو برمتها، إذا لم تحتفظ فى ذهنك بالخصائص المميزة للمجتمع الفيزيائى.

لقد أثارت التجربتان اللتان، أعلن عنهما فى العامين ١٩٨٠ و ١٩٨١، الاهتمام البالغ بين العلماء، خاصة أنهما توصلتا إلى نفس النتائج من خلال وسيلتين متباينتين. وبالتأكيد أن كلاً منهما يتضمن بعض الارتيابات. ففى تجربة "إيرفن" على سبيل المثال اعتمدت النتائج على الإفادة بأن عدداً أقل من النيوترينوات قد تم تتبعها، عما كان يتوقع المرء. وماذا لو حدث خطأ ما فى إحصاء عدد النيوترينوات التى تترك المفاعل؟ وعلاوة على ذلك، إن النيوترينوات ليست الجسيمات الوحيدة التى تأتى من الجزء المركزى من المفاعل، إذ ربما تختلط بها بعض النيوترونات، مما يفسد نقاء الشعاع. والنهج التقليدى للتعامل مع هذا النوع من المشاكل، هو استخدام المنظومات الإلكترونية لانتقاء الجسيمات التى تريدها، ولكن عند التعامل مع جسيم مراوغ كالنيوترينو، فإنه ينتابك القلق عن مدى أرجحية أنك ضمنت أو استبعدت بطريقة منهاجية، بعض الأحداث الخاطئة فى هذه العملية. والطريقة الوحيدة للتغلب على هذه الشكوك، هو إعادة إجراء التجربة (ويفضل أن يكون فى مفاعل مختلف)، فى موقع يكون فيه الكاشف قابلاً للتحرك، ومن ثم يمكن قياس الشعاع أولاً فى موضع معين، ثم فى موضع آخر، أبعد ولكن فى نفس الاتجاه. وبهذه الطريقة، سوف تمحى أى أخطاء من ذلك النوع الذى ذكرناه آنفًا، وهكذا يمكن قياس التذبذب، بين الموضعين بدقة بالغة.

أما فيما يتعلق بعدم قيام مجموعة "إيرفن" بإجراء التجربة بهذه الطريقة، فإن هذا لا يوجب توجيه النقد للعلماء الذين قاموا بها، إذ إنهم أدوا عملهم تبعًا للإجراءات المعترف بها، كما أنهم أوضحوا بأنفسهم الحاجة إلى القيام بتجربة قياس الموضعين، ولكن لكى تحرك كاشف نيوترينو، يزن العديد من الأطنان، من مكان إلى آخر داخل الجنبات المزدحمة بالأجهزة فى مفاعل رئيسى، أمرًا تكتنفه الصعوبات الكئداء. والواقع، فإن بعض الجماعات التى تقوم بهذا النوع من العمل، تجد أنه أكثر سهولة تشييد كاشفين ضخمين، بدلا من محاولة تحريك كاشف واحد. وعلى أية حال، فإن نتائج أبحاث "إيرفن" لا يمكن قبولها، إلا بعد إثبات صحتها بهذه الطريقة تحديدا.

وقياسات موسكو أيضًا تعاني من مشاكل متأصلة. ولقد تحدثت بطريقة خالية من الرسميات، عن قياس اضمحلال النيوترون، وثمة حقيقة واضحة فى هذا المجال، مفادها أنه لا توجد تجمعات ضخمة من النيوترونات الحرة فى الطبيعة.

ومن الناحية العملية، فإن التجربة الروسية قد أجريت، بقياس ذرة "التريتيوم" التى تشتمل نواتها على بروتون واحد ونيوترونين. والتريتيوم نظير للهيدروجين، ومن ثم يمكنه أن يشكل رابطة كيميائية مع أى مادة يوجد فيها الهيدروجين بطريقة طبيعية. وكان التريتيوم الذى تم قياسه مرتبطا بجزىء عضوى معقد يطلق عليه "فالين"(١).

ولكن أظهر هذا المخطط نوعًا جديدًا من المشاكل. إذ عندما يضمحل النيوترون داخل نواة التريتيوم داخل جزىء ضخم، فإنه يمكن للطاقة الانتقال إلى الجزىء بالإضافة إلى الجسيمات التى تنطلق إلى الخارج. وبعد الاضمحلال – على سبيل المثال – قد يتذبذب الجزىء مثل الوتر المهتز. وهذا الانتقال للطاقة سوف يخفض من الطاقة القصوى التى يمكن للإلكترون اكتسابها، وهذا العجز فى مقدار الطاقة، يمكن أن يبدو – على غير الحقيقة – مثل كتلة للنيوترينو. والطريقة الوحيدة لتصحيح هذا الارتباك

---

(١) حمض أمينى يدخل فى تكوين البروتينات فى الجسم. (المترجم)

المحتمل (بدلاً من القيام بالحسابات النظرية) سوف يكون بإعادة التجربة بالتريتيوم ولكن فى بيئة متباينة، إما بمادة مختلفة أو بنفس التريتيوم.

وبالتالى، كان واضحًا فى مطلع العام ١٩٨٢، بأنه على الرغم من النتائج الإيجابية لهاتين التجربتين، فإن الأمر يقتضى القيام بعمل شاق، قبل قبول النيوترينو الثقيل. وربما تتعجب لماذا – فى ضوء كل الشكوك – لم يتبن مجتمع العلماء النظريين، أسلوب الترقب حتى تتأكد النتائج، قبل البدء فى إجراء أبحاثهم على كون تؤدى فيه النيوترينوات الثقيلة دور المادة المظلمة. ويجب أن تكون الإجابة متناغمة مع الطريقة التى تعمل بها مجتمعات العلماء النظريين فى الفيزياء والفيزياء الفلكية.

إن النظرية هى لعبة الشباب. وبالطبع هناك استثناءات جديرة بالملاحظة، ولكن لأن المستقبل الكبير المتسع للفيزيائى النظرى، يحدده ما يتمكن من إنجازه فى العقد الأول بعد تخرجه فى الجامعة، قل عندما يكون عمره بين خمس وعشرين وخمس وثلاثين سنة. وفى تلك الحقبة القصيرة من الزمن، فإن الفيزيائى الطموح يجب أن يقوم بعمل مثير يبهر الآخرين، حتى يشد اهتمام زملائه حول العالم، وأحد أفضل الطرق لتحقيق ذلك، أن يكون أول من يستثمر لأقصى استفادة ممكنة، ابتداع تجريبى جديد. فإذا كتبت واحداً من أول البحوث التى تشرح فيها بإسهاب كيف يمكن حل مشكلة المجرات، بدلالة النيوترينوات الثقيلة، فإنك سوف تحصل فى التو على درجات نجاح أكاديمى، بالإضافة إلى دعوات لزيارة الجامعات الأخرى، لتشرح ما قمت بإنجازه، وكذلك سوف تحصل على منح بحث ضخمة من جهات ممولة، وإذا كنت محظوظًا للغاية، فسوف تحصل على دعوة لكتابة مقال بمجلة "الأمريكى العلمى" تلخص فيه عملك، عن هذا المجال الجديد. بيد أنك لكى تنال كل هذه المكافآت، لابد أن تسارع باتخاذ مكان فى ذلك المجال العلمى، ومعك قطعة بحث رئيسية. ويجب أن ينظر إليك الجميع باعتبارك رائدًا.

ويفسر هذا الأمر ذلك الضغط المروع على الفيزيائيين النظريين – سواء كانوا شبابًا يريدون ترسيخ سمعة أو كبارًا راغبين فى إدامة مكانتهم العلمية – للتحرك

بسرعة، عندما يتجلى مجال جديد فى الأفق. وبالتالى، فبمجرد طفرة التوصل إلى النيوترينو الثقيل، شكل العلماء النظريون أكوانًا جديدة كاملة، الواحد تلو الآخر، مستندين على بعض النتائج التجريبية الأولية للغاية. وبالتعرف على الطريقة التى تعمل بها جماعة العلماء النظريين، فإن هذا السلوك يعد مفهومًا ويمكن تبريره لحد بعيد: إنه أسلوب عقلانى للنظر إلى احتمالية حدوث شىء ما.

وإذا أجريت اختيارًا دقيقًا على نتائج تجربة ما، ثم اتضح فيما بعد أنها ليست متسقة مع الحقيقة والواقع، فإنك لن تخسر شيئًا. والأبحاث التى نشرتها فى هذا المجال، سوف تجذب بعض الاهتمام العابر السريع الزوال، ولن يلومك أحد، أنك اعتمدت فى كتابتها على ابتداعات تجريبية خادعة وغير صحيحة. وعلى كل حال، فإن التجربة غير الصائبة ليست خطأك. ومن ناحية أخرى، إذا كانت نتائج التجربة صحيحة، فسوف تحظى بالحصول على كسب كبير.

والأمر الأكيد الوحيد، أنك لو انتظرت حتى تنشر نتائج التجربة على نطاق واسع، فإنك سوف تخسر بالتأكيد، إذ سيغامر الآخرون ويعلنون الاكتشافات الرئيسية، وكل ما عليهم عمله هو إضافة ملاحظات هامشية إلى أبحاثهم.

وتضمن تلك الطريقة فى العمل، أنه حتى مجرد إشاعة عن ابتداع تجريبى جديد، سوف يدفع - على الأرجح - الباحثين إلى جانب جديد من ذلك المجال العلمى.

إن هذا يفسر القبول الواسع للأفكار الجديدة فى العلم، كما يشرح - فى نفس الوقت - لماذا الأفكار التى تروجها الصحافة وكأنها نهائية فى أحد الأعوام، سرعان ما تختفى فى العام التالى، ولا يسمع بها أحد من جديد، وهذا ما كان عليه مصير النيوترينو الثقيل.

وبينما انشغل علماء الكون فى بحث نتائج النيوترينوات ذات الكتل، قريبا من طاقة ثلاثين إلكترون فولت، فإن مجموعات من الباحثين فى المفاعلات حول العالم، لم يكونوا أقل انشغالاً لإثبات صحة النتائج التى توصل إليها علماء "إيرفن".

وجاءت التصريحات الجديدة الأولى نتيجة لاختبارات متعجلة لا يمكن الاعتماد عليها: وتوقف الاستمرار فى إجراء التجارب وقتئذ، وعدل الباحثون بسرعة من معداتهم وتجهيزاتهم لتفحص تذبذبات النيوترينوات. وخلال تلك الفترة المبكرة، كان الموقف ضبابيًا إلى حد ما. بدا أن بعض الباحثين يدعمون فكرة التذبذبات، بينما رفضها البعض الآخر. بيد أنه بمرور الوقت، صممت التجارب خصيصًا لهذه المهمة تحديدًا، وأخذت فى التقدم تحت مراقبة حاسوب مركزى، وبدأ ما كان يعد فشلاً فى التحول إلى نجاح. وأخذت القيود على وجود التذبذبات فى إشعاعات المفاعل، تتناقص رويدًا. وأصبح واضحًا، أن النتائج الأصلية كانت ببساطة خاطئة (على الرغم من أننى لم أسمع أحدًا على الإطلاق يشرح السبب فى هذا)، وأنه إذا كانت تذبذبات النيوترينوات موجودة بالفعل فى الطبيعة، فلن يمكن مشاهدتها إلا بتجربة دقيقة للغاية وبالغة الصعوبة، وفى العام ١٩٨٤، بنفس المكان الذى أعلنت فيه أول نتائج إيجابية. قدم (فيلكس بوهم) من "كالتك"[١] تقريرًا يتضمن مراجعات نقدية فى هذا الصدد، أوجز فيه الموقف التجريبى، وقضى تمامًا على فكرة تذبذبات النيوترينوات.

ووضع هذا التقرير علماء الكون، فى موقف مرتبك ومضطرب، إذ على الرغم من أن تجربة التذبذب لم تعط قيمة لكتلة النيوترينو فإنها منحت مصداقية لنتائج التجربة الروسية، التى أعطت بالفعل قيمة لهذه الكتلة. ومن ثم يجب على التوقعات عن الدور المحتمل للنيوترينوات الثقيلة فى الكون، أن ترتكز على هذه النتائج وحدها، التى تمخضت عن تجربة وحيدة. وإلى جانب ذلك - وعلى الرغم من أنه عادة ما يعتبر من غير اللائق الإفصاح عن هذا الأمر بشكل علنى - فإن علماء الغرب لا يولون أى ثقة فى التجارب التى تجرى فى الاتحاد السوفيتى[٢]، خاصة عندما تتضمن هذه التجارب قياسات دقيقة، وتتطلب معدات إلكترونية متطورة. إذ إن الباحثين الروس ليست لديهم سجلات أداء للإنجازات الفعلية، لمثل هذه التجارب العلمية، ربما يرجع السبب - على خلاف زملائهم فى الغرب - أنهم مجبرون على استخدام أى من المعدات الإلكترونية التى لا تحتاجها القوات المسلحة.

---

(١) معهد كاليفورنيا للتقنية California Jnstitute of Technology. (المترجم)

(٢) روسيا الاتحادية حاليا. (المترجم)

وخلال منتصف الثمانينيات من القرن العشرين، أخذ الاهتمام بالنيوترينوات الثقيلة يتضاءل رويداً بين علماء الكون. أما العلماء النظريون الذين كانوا يجدون في البحث عن إنجاز كبير مفاجئ، فقد تحولوا إلى المادة المظلمة الباردة (انظر الفصل السابع) ثم إلى الأوتار الكونية (الفصل الثانى عشر). ومن وقت لآخر، كان ثمة ولاء كلامى كاذب يتضمن تملقًا ومداهنة للنتائج الروسية، ولكن من الآن فصاعداً، لم يأخذ النيوترينوات الثقيلة مأخذ الجد، إلا عدد قليل من الباحثين. وفى الوقت نفسه، قام العديد من المختبرات حول العالم، بإجراء عمليات مضنية، لتشييد معدات لتكرار قياسات الإلكترونات التى تنجم عن اضمحلال النيوترونات فى "التريتيوم". وفى زيوريخ، أدمج التريتيوم فى مادة خاصة أساسها كربونى، ولكن لم يجمد فى جزىء، كما حدث فى التجربة الروسية، وفى "لوس ألاموس"[1] قام الباحثون بقياساتهم على غاز التريتيوم.

وتميزت تقنية زيوريخ بمقدرتها على إجراء العديد من القياسات لاضمحلالات التريتيوم، وكان على الباحثين القلق على تأثيرات المادة الكربونية. أما مجموعة "لوس ألاموس"، فقد كانوا يجرون تجاربهم على تريتيوم "نقى"، وكان عليهم أن يكونوا قانعين برؤية عدد أقل من الاضمحلالات، لأن التريتيوم فى حالة غازية وليست صلبة.

وفى صيف العام ١٩٨٦، أعلنت النتائج التى تمخضت عنها تلك التجارب، بينما كانت الجماعات فى "زيوريخ" و"لوس ألاموس" مازالت تتجادل حول أيهما يستخدم أفضل الوسائل فى تجاربهما، واتفقا على أمرين: أولهما مفاده أن احتمالية أن تكون كتلة النيوترينو صفرية (أو بالغة الضآلة)، تتناغم مع البيانات التى أمكن الحصول عليها، وثانيهما أن كتلة النيوترينو يجب أن تكون – على أية حال – أقل من حوالى ثمانية عشر إلكترون فولت (ثمانية وعشرين إلكترون فولت بالنسبة لتجربة "لوس ألموس").

وبمعنى آخر، فموجة التجارب الثانية، تتناقض مع نتائج التجارب الروسية، وادعائها بأن كتلة النيوترينو يجب أن تكون أكبر من أربعة عشر إلكترون فولت. ويتوقع

(١) مختبر لوس ألاموس القومى – فى نيومكسيكو Los Alamos National Laboratory. (المترجم)

معظم الفيزيائيين، أن القيود المحددة لكتلة النيوترينو سوف تندفع للانخفاض أكثر، مع القيام بتجارب إضافية. وعندما تصل هذه القيود إلى أقل من أربعة عشر بعدد قليل من الإلكترون فولت، فإنها سوف تتوقف على أن تدخل فى دائرة "الاهتمام الكونى"، إذ إنه لو كانت كتل النيوترينوات بهذا القدر من الضآلة، فإنها لن تتمكن من غلق الكون. والرأى عندى أنه لو أجرى اقتراعًا بين الفيزيائيين اليوم، فإن معظمهم سوف يرى أن هذه المحصلة هى العاقبة الأكثر ترجيحًا، لطفرة النيوترينو الثقيل.

ما الذى نستخلصه من كل هذا؟ إن الاهتمام الذى تعاظم فجأة، وبدأ فى ذلك الربيع الجميل من بعد ظهر أحد أيام العام ١٩٨٠، قد تبدد. وبمرور عقد من الزمن لن يتذكر أحد، إلا المؤرخون، أن علماء الكون - لفترة زمنية قصيرة - انشغلوا بفكرة النيوترينو الثقيل، كمكون رئيسى للمادة المظلمة.

إن ذلك الافتراض سريع الزوال، قد أسهم إلى حد ما فى فهمنا للكون، ولكنه يجب أن يسهم بشكل كبير فى فهمنا للطريقة التى يعمل بها العلم.

واعتمادًا على حالتك المزاجية، فإنك سوف "تنظر بحذر" أو سوف "تشير بفخر". وفى الحالة الأولى، ستفكر فى كل الجهود الضائعة وتسارع العمليات العملية، على الرغم من أن النتائج الأولية التجريبية، مازالت تصنف تبعًا لنوعها، وهكذا استنفدت كل المواهب من أجل لا شىء. أما إذا اتخذت الحالة الأخيرة كرأى لك، فإنك سوف تبتهج لأنه خلال عدة سنوات قصيرة، أمكن توضيح موقف بالغ التعقيد، وذلك بجهود مشتركة للمجتمع الفيزيائى الدولى. وظهر أن كتلة النيوترينو بالغة الضآلة وتكاد أن تكون صفرًا، ووضعت الطرق لاكتساب المزيد من المعرفة عن هذا الأمر، الذى يعد أحد الثوابت الأساسية للطبيعة. وسوف يكون من حقك المجادلة، أن بعض السنوات من الارتباك والتشوش، كانت ثمنًا زهيدًا دفع للحصول على هذه النتيجة.

وأيا كان الموقف الذى تتخذه، فإنه يبدو واضحًا - بصرف النظر عما سيكون عليه الحل لمشكلة المادة المظلمة - أن هذا الحل لن يتضمن النيوترينوات الثقيلة فقط، بل ربما لن يشتمل على النيوترينوات على الإطلاق. لابد إذن أن نسعى إلى البحث عن احتمالات أخرى، أكثر إثارة للاهتمام.

الفصل الحادى عشر

هل تتحكم الجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل فى الكون؟
تلك المرشحات الغريبة، مكونات للمادة المظلمة

(الحصان أحادى القرن، حيوان أسطورى).

(جيمس ثارير)

"الحصان أحادي القرن في الحديقة"

إن مجموعة العوامل والظروف الحالية التى تتعلق بالمادة المظلمة، تتلخص فى أننا نعرف بوجود كمية هائلة منها فى الكون، واستطعنا استبعاد كل نوع عادى من الجسيمات المرشحة التى نعرفها، ويمكن إنتاجها فى مختبراتنا. وفى مثل هذه الظروف، لا يمكننا أن نصل إلى أية نتيجة، ورغم ذلك فالمادة المظلمة يجب أن تكون موجودة بشكل ما. لم نشاهده بعد وأننا غير مدركين لخصائصها على الإطلاق. وربما تشعر بمتعة، إذا ذكرت بأنه من الطبيعى، أن يسبب هذا الموقف العصيب حيرة بين الباحثين المتخصصين، الذين كانوا يتناقشون بجدية فى اجتماعات مغلقة، ثم يتصافحون بوقار، ويحزنون بأسى على فشل أبحاثهم فى التوصل إلى المكونات الأساسية للكون. وكنت أريد أن أقرر هذا الأمر، وأحقق توقعاتك، ولكننى لا أستطيع، لأن الحقيقة هى أن علماء الكون، وجدوا أنفسهم فى طريق مسدود، ومن ثم، تصرفوا كطفل وجد نفسه أمام كومة، من اللعب الجديدة فى عيد الميلاد. وأكثر ما يفضله العلماء

النظريون، موقفاً يطلقون فيه العنان لخيالهم دون الخوف من أى شىء - مثل تجربة أو ملاحظة هوجاء - لتنهى لعبتهم. وعلى أية حال، استطاعوا تقديم اقتراحات فريدة، عما قد تكون عليه المادة المظلمة للكون.

والطريق الذى اتخذوه لتحقيق ذلك هو كما يلى: إنهم اعتنقوا نظرية حديثة مسايرة للعصر، عن التفاعلات بين المكونات الرئيسية للمادة، ولاحظوا أن هذه النظرية إما أنها تتطلب أو تسمح بوجود جسيم جديد من نوع ما. وقاموا بدراسة المتطلبات التى تتضمنها طبيعة هذا الجسيم غير المكتشف بعد، وعما إذا كان بمقدوره أن يؤدى دور المادة المظلمة الباردة، كما أوضحنا فى الفصل السابع، وأعلن فى عرض جماهيرى رائع، أن المكون الرئيسى للكون قد تم اكتشافه.

ويوضح أسلوب الأداء فى هذا البحث - مثل أى شىء آخر - الجمع بين فيزياء الجسيمات وعلم الكون، ووجود كل جسيم سوف نناقشه فى التو، كان قد اقترح فى الأصل لأسباب ليست لها أية علاقة، ببنية الكون. والبحث فى خصائصها كان مدفوعاً فقط، بالاحتياجات الداخلية للنظريات التى صيغت لتشرح التفاعلات بين الجسيمات الأساسية. وبعد استكمال هذه الخطوات فحسب، أدرك الباحثون أن تلك الجسيمات يمكنها أيضاً أن تؤدى دوراً كونياً. عندئذ، ها هى بعض الجسيمات التى افترض أنها تكون المادة المظلمة. ويشار إليها إجمالاً بـ WIMPs وهى لفظة أوائلية[1] لتعبير: "Weakly Iteracting Massive Particle". أى "الجسيم الثقيل ضعيف التفاعل". وإذا تفحصت أشهر الجسيمات التى تم اقتراحها كمكونات للمادة المظلمة، خلال السنوات القليلة الماضية، سوف أترك لك الخيار لكى تخمن أيها كان معيباً لا يصلح. ولكن قبل البدء فى ذلك التمرين فى الخيال، أود أن أؤكد على نقطة واحدة من الناحية العملية:

---

(١) كلمة مؤلفة من الأحرف الأولى لكلمات أخرى. (المترجم)

ليس أى من أشكال المادة التى سوف نذكرها - ولا واحدة منها - قد تم ملاحظته فى المختبر. ربما تفكر أنها يجب أن توجد، ولعلك حتى تجادل، فى أننا إذا تعمقنا فى البحث بدرجة كافية، فإننا سوف نجدها، بيد أن عدداً من علماء العصور الوسطى، فكروا بنفس هذا المنطق، عن الحصان الأسطورى وحيد القرن.

وما دام وصف المزيد من الاحتمالات الغريبة، سوف تقودنا إلى بعض المجالات الدراسية الثانوية بعيدة عما نبحث عنه، ومن يرغب فى أن يتجنب مخاطر هذه المغامرة غير المحسوبة النتائج، فيمكنه أن يتقدم إلى الأمام، على الملخص فى صفحة ١٧٦، حيث قمت بوضع قائمة، سجلت فيها الجسيمات المرشحة - كمكونات للمادة المظلمة - وكذلك صفاتها المميزة.

التماثل الفائق

إلى هنا، يبرز العدد الأكبر من مرشحات المادة المظلمة، من مبدأ أساسى يعرف بالتماثل الفائق. والنظريات التى تفرض مقدمًا التماثل الفائق، هى تلك التى تود كل القوى الأربعة، وهى النظريات الجوهرية التى تتحكم وتنظم اللحظة الأولى فى عمر الكون، وفى المصطلحات العلمية الجذلة لعلم الكون الحديث، يشار إليها أحيانًا باللفظة الأوائلية TOE للعبارة "Theory of Everything" أى نظرية لكل شىء[١].

ولكن ما هو التماثل الفائق؟ عندما تتحطم المادة إلى مكوناتها الأساسية، فإننا نتعرف على نوعين من الجسيمات الأولية. أولهما، الكواركات وجسيمات مثل الإلكترون (أى لبتونات)، هى التى تكون المادة الصلبة، وتصنف هذه الجسيمات كمجموعة تحت مصطلح "فرميونات"، نسبة إلى (إنريكو فيرمى) الفيزيائى الإيطالى - الأمريكى الذى تفحص بدقة - لأول مرة - صفاتها الخصوصية. وتتميز هذه الجسيمات بحقيقة أنها

---

(١) من المفترض أنها قادرة على تفسير جميع الظواهر الفيزيائية. (المترجم)

تلف[1] حول محاور دورانها، بمعدلات تمثل كسورًا من العدد الصحيح للوحدة الأساسية للدوران. وبمعنى آخر، لها لف ١/٢ و ٣/٢ و ٥/٢ وهكذا، ولكنها لا تلف أبدًا بمعدلات.. ١,٢,٣ .

وقد أطلق مصطلح (بوزونات) على فئة ثانية من الجسيمات - نسبة إلى الفيزيائى الهندى (س.ن.بوز)[2]. وتلك الجسيمات لها معدل لف.. ٢ , ١ , ٠ وهكذا.

وعلى غير الفرميونات، فهى ليست جزءًا من بنية المادة الصلبة. وبدلاً من ذلك، فإنها تمر بسرعة وخفة بين الجسيمات الأخرى، مما يؤدى إلى إنشاء القوى التى تربط المادة ببعضها (أو فى أحوال معينة، تمزقها إربًا).

ويعد الفوتون أكثر البوزونات المألوفة، وهو الجسيم الذى يرتبط بالضوء العادى. وعندما يتم تبادل الفوتونات إلى الأمام والخلف بين جسيمين مشحونين (على سبيل المثال، الإلكترون والنواة التى يدور حولها)، فإن هذا يؤدى إلى إنشاء القوة الكهربائية المألوفة، وبناء على ذلك، يمكن اعتبار أن أجزاء الذرة تتماسك معًا بالفوتونات التى يتم تبادلها بين الإلكترونات والنواة.

ونرى فى الذرة بوضوح كبير، الأدوار التى يؤديها نوعان من الجسيمات، إذ إن بنية الذرة - الهيكل الصلب الذى يكونها - يتشكل من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات، وكل هذه الجسيمات تنتمى إلى الفرميونات. وكذلك الكواركات، التى تكون البروتونات والنيوترونات. بيد أن هذه الجسيمات تتماسك معًا فى بنيانها، بالتبادل الدائم للبوزونات. تمامًا مثل حفاظ الفوتونات على الإلكترونات فى مدارها حول النواة، وثمة جسيمات مشابهة - يطلق عليها "جلونات"، تبقى على الجسيمات التى فى نواة الذرة، متماسكة معًا[3].

---

(١) دوران الجسيم حول نفسه. (المترجم)

(٢) (ساتيندرا ناث بوز) (١٨٩٤ - ١٩٧٤) عالم فيزيائى هندى متخصص فى الفيزياء الرياضية. (المترجم)

(٣) المزيد من الوصف الكامل للطريقة التى يتم بها تبادل الجسيمات، مما يؤدى إلى إنشاء قوة. مشروحة فى كتابى "from Atoms to Quarks" (من الذرات إلى الكواركات). (المؤلف)

إن النقطة الأساسية فى موضوع البوزونات والفرميونات تتلخص فيما يلى: إننا لم نشاهد قط فى مختبراتنا تفاعلاً تتحول فيه أحد الجسيمات إلى جسيم آخر. وبمعنى آخر، فإن الأمر يبدو وكأن ثمة "جدار" لا يخترق ينتصب بين النوعين من الجسيمات، إذ إنهما دائمًا منقسمان حسب الوظيفة التى يؤدونها. وهذه الصفة الفارقة، لابد وأنها كانت موجودة منذ أن انفصلت الجاذبية بعيداً عن القوى الأخرى، عندما كان عمر الكون ١٠-٤٣ ثوانٍ. ونتج عن هذا - ولأسباب فنية متنوعة - أننا إذا أردنا صياغة نظرية التوحد النهائية، حيث تعامل الجاذبية بنفس طريقة القوى الأخرى، لابد لنا من تقديم تفاعلات فيها يمكن للفرميونات أن تتحول إلى بوزونات، وتستطيع البوزونات أن تتحول إلى فرميونات. وبالفعل فإن الصفة الفارقة بين الجسيمات كبنية والجسيمات ككقوة، لم تكن موجودة، عندما نشأ الكون، ولابد أنها ظهرت بعد التجمد الأول، عندما انفصلت الجاذبية عن كل القوى الأخرى (يجب أن نلاحظ أنه عندما أمكن للجسيمات أن تتحول كل واحدة إلى الأخرى، فى أى نوع من التفاعلات، فكر الفيزيائيون فيها على أنها الجسيمات ذاتها، ولم يحدث لها أى تغيير، وبالطريقة نفسها، فأنت الشخص عينه سواء ارتديت بدلة أنيقة أو ملابس خفيفة).

وفى ذلك العالم الذى لا توجد فيه الصفة الفارقة بين البوزونات والفرميونات، يطلق عليه "فائق التماثل". وسوف يكون هذا العالم متناهى البساطة، إذ سوف يكون هناك نوع واحد فقط من الجسيمات، يعتبر مسؤولاً عن كل من البنية والقوة. وأكثر الطرق الواعدة لتفهم أصول الكون، يبدو أنها تتضمن نظريات تسلم جدلاً أن كل شىء، بدأ فى حالة من التماثل الفائق.

وهذه النظريات تنبأت أيضًا بأنه فى البداية، عندما كان الكون فى حالة تماثل فائق، كان له شركاء - يمكن القول إنها صور مرآتية - لكل الجسيمات المألوفة. ونعلم أنه فى عالمنا المعاصر، ثمة بوزون يطلق عليه الفوتون، الذى يولد القوة الكهربائية. وتنص نظريات التماثل الفائق، على أنه قبل أن تنفصل الجاذبية عن القوى الأخرى، كان هناك جسيم آخر، مطابق للفوتون فى كل الوجوه، ما عدا أنه يلف بمعدل ١/٢ بدلاً

من ١ وكان هذا الجسيم الآخر – الذى أطلق عليه "الفوتينو" – من الفرميونات. وفى الكون المبكر، كان يمكن لذلك الجسيم أن يتحول إلى فوتون والعكس.

وعندما انفصلت الجاذبية عن القوى الأخرى، اختفى التماثل بين البوزونات والفرميونات، وفقدت البساطة المبكرة للكون. ومن وجهة نظر الجسيمات، فإن فقدان التماثل أظهر نفسه فى العملية التى أصبح فيها الفوتينو ثقيلاً للغاية. أكثر ثقلاً من البروتون. وتنبأت النظريات بأنه فى الكون المعاصر، ثمة نوع من العالم المرآتى مكون من شركاء فائقى التماثل، لكل الجسيمات التى نشاهدها عادة. وعلى سبيل المثال، نعرف أن هناك جسيمًا يطلق عليه الإلكترون، ولكن تخبرنا النظريات أنه من الممكن أيضًا تخليق مشابه فائق التماثل للإلكترون له معدل لف ١ بدلاً من ١/٢، وأنه ثقيل للغاية. ويطلق على هذا الجسيم "السليكترون". ويفترض أيضًا وجود سكواركات (الشبيهة بالكواركات)، وكذلك "سنيوترينوات" (الشبيهة بالنيوترينوات)، وهكذا. وربما كان هناك أيضًا "سرجال" وسنساء، على الرغم من النظريات – على حد علمى – لم تتطرق إلى هذا الأمر بعد..

وفى الوقت الحاضر، لا تتطلب النظريات، أن تكون هذه الجسيمات فائقة التماثل تتجمع فى نفس الأماكن، مثل المادة العادية. كما لم تعطينا هذه النظريات أى فكرة راسخة، عن المقدار المفترض لكتلة جسيم مثل الفوتينو، على الرغم من أن التفكير السائد فى الوقت الحالى، أن الفوتينو ربما يكون – على الأقل – أثقل من البروتون أربعين مرة. وفى الوقت نفسه، فإن النظريات تقضى بأنه ما دام التماثل قد تحطم، فإن التفاعل بين العالم فائق التماثل وعالمنا، يجب أن يكون ضعيفًا للغاية. ويجب أن تكون كل "السجسيمات" أكثر مراوغة بكثير من النيوترينو، ومن المستحيل اكتشافها وتتبعها مباشرة، باستخدام تقنيتنا الحالية.

وبكل هذه الخواص، فإن الجسيمات فائقة التماثل، تكون مرشحات مثاليات كمكونات للمادة المظلمة. إن تلك الجسيمات ثقيلة، إذن يمكنها ممارسة قوة تجاذبية.

وكذلك فإنها ضعيفة التفاعل، ومن ثم، فلن تتدخل فى الأنشطة المحتدمة فى أشياء كالنجوم أو معجلات الطاقة العالية. ماذا يمكن للمرء أن يطلب أكثر من ذلك؟

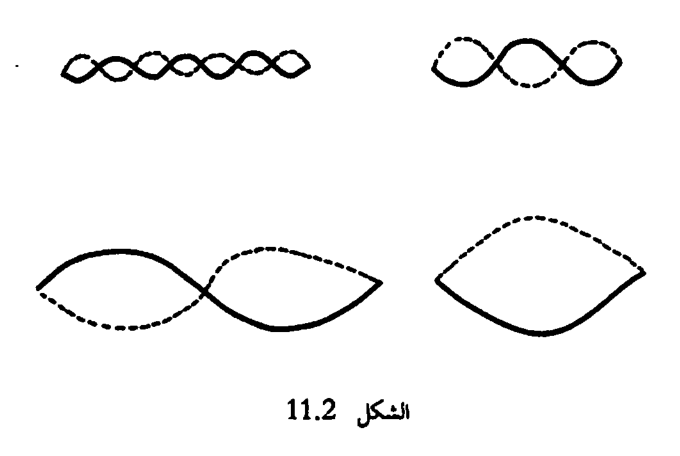
الأوتار الفائقة

إن الإدراك الحالى المساير للعصر، عن فكرة التماثل الفائق، متضمن فيما يطلق عليه نظريات "الأوتار الفائقة"، وفى هذه النظريات تكون كل المكونات الأساسية لكل الجسيمات، عبارة عن أوتار ضئيلة للغاية من مادة شديدة الكثافة، مطمورة داخل سحابة ناعمة وخفية كالزغب، من المادة التـــى تكـون الطبقات الخارجية للجسيمات المألوفة. إن الأوتار متناهية الصغر، لا يزيد طولها على ٣٣-١٠ سنتيمترا. ونوع الوتر الذى يفترض أنه يكون قلب المادة، يكون حجمه تقريبًا - بالنسبة للبروتون - مثل العلاقة فى الحجم بينك وبين مجرة صغيرة، وفى أولى نظريات الأوتار التى تمت صياغتها، كانت الفرميونات عبارة عن أنشوطات، مثل تلك الموضحة إلى اليسار فى الشكل ١١,١، بينما تطابقت البوزونات مع الأوتار المفتوحة، كما هو موضح إلى اليمين فى نفس الشكل. وحتى الكواركات افترض أنها مكونة من أوتار، إذا تفحصتها عن قرب بما يكفى.



الشكل 11.1

ولو اعتقدنا بأن قلب المادة له نوع من البنية الوترية، إذن فهناك تشابه مفيد، تساعدنا على فهم كيف يجب أن تسلك المادة (خاصة المادة فائقة التماثل). عندما تنقر وتر جيتار، يمكنك أن تجعله يتذبذب، كما هو موضح فى الرسم الأسفل إلى اليمين، بالشكل (٢-١١) ويطلق على هذا "الشد الأساسى" فى الموسيقى، وهى أكثر النغمات الموسيقية انخفاضًا، التي يمكن أن تصدر عن الوتر المهتز. ويمكنك أيضًا أن تجعل الوتر يتذبذب فى أشكال أخرى، كما هو موضح فى الثلاثة رسومات الأخرى وهذه الأشكال المتباينة تصدر توافق النغمات الموسيقية، والألحان والإيقاع، التى تعطى النغمات الموسيقية ثراءها، ولآلة موسيقية معينة كيفية النغمة.



الشكل 11.2

لكى يتذبذب وتر الجيتار لابد له من طاقة، وتظهر هذه الطاقة نفسها، فى طاقة اهتزاز الوتر عندما يتذبذب. وحيث إن الطاقة والكتلة متكافئتان (الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء $E=mc^2$)، وهذا يعنى أن كلاً من أشكال تذبذب وتر الجيتار الموضحة، يوجد بها ثمة اختلاف طفيف فى الكتلة مصاحبة لها.

عندما "ينقر" الوتر الفائق، فإنه أيضا يمكنه أن يتذبذب بنغمات متباينة. وبالنسبة لوتر الجيتار، فإن كلا من هذه التنظيمات الثابتة للنغمات، سوف تكون لها طاقة مختلفة وكتلة متباينة، عن الآخرين. وعندما نتفحص وترًا فائقًا متذبذبًا عندئذ، فإننا نرى شيئًا

ما له كتلة، وأن هذه الكتلة تختلف من وتر متذبذب، إلى آخر بيد أن هذا ما نراه بالضبط، عندما نتفحص الجسيمات المختلفة، إذ إنها أيضًا لها كتلة متباينة. وهذا الأمر يفسر القواعد الأساسية لنظرية الأوتار الفائقة. فكل شكل من الأشكال المحتملة واللانهائية لاهتزاز الوتر الفائق، يطابق جسيمًا مختلفًا، ومن ثم، فإننا نتوقع وجود عدد غير محدود، من الجسيمات المحتملة فى العالم.

وتقودنا هذه الفكرة أيضًا إلى الاعتقاد أنه عندما ننقر على وتر (على سبيل المثال، بإضافة طاقة فى تصادم طاقة عالية) سوف تتلاشى فى النهاية النغمات التوافقية المرتفعة، تاركة فقط الشد الأساسي للتذبذب. وهذه نقطة مهمة، لأن ذلك يعنى أننا عندما نبحث عن الجسيمات فائقة التماثل، فإننا سوف نجد - على الأرجح - تلك التى تتطابق مع الشد الأساسى للتذبذب، الذى يمكن تفسيره على أنه الأقل كتلة من بين الجسيمات فائقة التماثل. وحتى الآن، ربما تبدو هذه المجادلة مدعاة للارتياب ووهمية، ولكن فى الواقع ليست هناك أى غرابة فيها. والآن دعنى أزيد الأمر إيضاحًا. فى جميع نظريات الأوتار الفائقة التى يفكر فيها بتمعن العلماء النظريون، لا تتذبذب الأوتار فى الثلاثة أبعاد المعتادة، ولا حتى فى العالم الفيزيائى ذى الأبعاد الأربعة. ويبدو أن النظريات تريد إبلاغنا، أن الأوتار لابد أنها تتذبذب إما فى عشرة أو ستة وعشرين بعدًا! (هل أنت على ثقة، بأنك لا تريد التقدم إلى الأمام رأسًا إلى حيث الملخص فى صفحة ١٧٦).

لا تحاول حتى أن تتصور ثلاثة أبعاد، لا يمكن فعل ذلك. والعلماء النظريون مدفوعون لأخذ مثل هذه الأفكار بعين الاعتبار، لأنه فقط فى الأبعاد الأعلى، يمكن للنظريات التى يصوغونها أن تتجنب ما يطلق عليه "الانحرافات". وعليك ألا تكترث بالتعريف الفنى لهذا المصطلح: إذ إن عالم الرياضيات يستجيب لأحد الانحرافات فى معادلاته، تمامًا كما تستجيب أنت عندما تتلقى إخطارًا من البنك بأنك قمت بالسحب على المكشوف من حسابك الجارى. والانحرافات أشياء سيئة ومربكة، ويجب تحاشيها مهما كانت التكلفة، حتى لو وصل الأمر إلى تكديس الأبعاد بكمية كبيرة.

وبدون إثارة القلق بشدة غير مبررة عن تعدد الأبعاد، أود أن أوضح أنه ليس ثمة سبب يدعونا إلى توقع أن نتخلص من الانحرافات فى أى بعد. وما وجده العلماء النظريون مشابهًا لما قد تجده إذا اكتشفت أنه باستطاعتك أن توازن كشف حسابك، لو استخدمت ورقة بها عشرة أسطر أو ستة وعشرين سطرًا، ولكن ليس تحت أى ظروف أخرى. وربما سوف تفهم أخيرًا لماذا احتاج حسابك الجارى لهذا، بيد أنك سوف تشعر دائمًا بإحساس غامض فى العملية كلها. وبطريقة مماثلة، فإن العلماء النظريين يفهمون الآن لماذا عشرة وستة وعشرين بعدًا للأوتار تعد مختلفة، ولكنها لن تجعل النتيجة أقل إثارة للدهشة.

وبالطبع، يؤدى تعدد أبعاد الأوتار الكونية، إلى مشكلة أخرى ومع ذلك، فإننا نعيش بالفعل فى عالم بأربعة أبعاد (ثلاثة مكانية "الطول والعرض والارتفاع" وواحد زمنى). وللالتفاف حول هذا التباين، تفترض نظريات الأوتار الفائقة، أنه عندما انفصلت الجاذبية، اجتازت الأبعاد الإضافية عملية يطلق عليها "الدمج". وكما يوحى به الاسم، تتنبأ تلك النظريات بأن الأبعاد الإضافية "التفت على بعضها"، بحيث يبدو العالم بأربعة أبعاد فقط، إلا إذا تفحصته بمقياس بالغ الدقة.

والتشابه القياسى الذى استخدم لتفسير الدمج، يتضمن خرطوم حديقة عاديًا. فعندما ترى خرطومًا من مسافة بعيدة، فإنه يبدو مثل الوتر أى شيئًا ذا بعد واحد. وما إن تقترب منه، حتى تدرك أن هناك بعدًا إضافيًا - ألا وهو عرض الخرطوم - ملتف حول بعضه، ويكون مرئيًا فقط عندما تتفحصه عن قرب. وهكذا هى حال الجسيم العادى، الذى يبدو بأربعة أبعاد، إلا إذا اختبرته عن قرب كاف، لتتأكد بأن الوتر فى مركزه. وفى هذه الحالة سوف يظهر أنه ذو عشرة أبعاد.

ولكن ما الذى سوف نفعله بالأوتار الفائقة؟ فمن ناحية، توفر بحق نظرية لكل شيء، تتميز بالأناقة والمتعة، كما تقدم الأوتار الفائقة مخططًا، يشتمل على كل القوى

التى تظهر على قدم المساواة، وهى تمثل تحقيقًا لحلم أينشتين الجوهرى. إنها فضلاً عن ذلك، تتميز بعض أشكالها بأن الجاذبية لا يمكن تجاهلها حتى بعد زمن (بلانك)[1]، عندما توحدت الجاذبية مع كل القوى الأخرى، ومن ثم أمكن وصف القوى بطريقة موحدة، حتى فى عالمنا المعاصر.

ومن ناحية أخرى، ليس هناك حاليًا أى تنبؤ نظرى، يمكن اختباره تجريبيًا أو بملاحظته والوصول إلى نتائج. إن العلماء النظريين قاموا بتجارب عدة، ومن ثم، فإنهم لم يعودوا يبحثون عن توجيه وإرشاد الملاحظة، بل يجب أن يعتمدوا على حسهم الجمالى والفنى. وهذه الطريقة فى التعامل مع العلم لم يتم تجربتها قط من قبل، وسوف يكون من المثير للاهتمام أن نرقب ما الذى سوف تسفر عنه.

الكون الظل

وإحدى النتائج المثيرة لنظريات الأوتار الفائقة، أنها قد تتسبب فى ظهور نوع آخر من المادة المظلمة، فى وقت ما فى المستقبل. وأوضح (روكى كولب) و(ديفيد سيكل) و(مايكل تيرنر) من جامعة شيكاغو ومختبر المعجل الوطنى فيرمى، أن أحد أشكال نظرية الأوتار الفائقة، القادرة على جذب الانتباه تحديداً، من وجهة نظر الناحية الفنية والجمالية الرفيعة، تبدو فيها المعادلات الرياضية وكأنها توحى، بأنه فى زمن (بلانك). انشطر الكون إلى جزأين منفصلين. أحدهما عالمنا الطبيعى، بكل ما فيه من أنواع متكاملة من الجسيمات وشركائها الفائقة التماثل وهناك أيضًا - بالإضافة إلى هذا - عالم ظل. والمادة فى هذا العالم الظل، تتشابه مع عالمنا أنها أيضاً، لها جسيماتها و"سجسيماتها". وفى حدود كل عالم، تتفاعل الجسيمات مع بعضها، خلال تكامل

---

(١) وحدة قياس زمن، وهو الوقت الذى يستغرقه الفوتون لينتقل بسرعة الضوء، مسافة فى الفراغ تعادل طول بلانك ٣٥-١٠ مترا تمت تسمية هذه الوحدة الزمنية على اسم العالم الألمانى (ماكس بلانك) (١٨٥٨ - ١٩٤٧). (المترجم)

تام للقوى الأربعة[١]. ومع ذلك، فإن الجسيمات فى أحد العالمين، يمكنها التفاعل مع الجسيمات فى العالم الآخر، من خلال قوة الجاذبية[٢]. ويمكن أن يكون إلكترونًا وإلكترون ظل، بالقرب من بعضهما، ولكنهما لا يشعران بالقوة الكهربائية، على الرغم من أن كل منهما يحمل شحنة كهربائية خاصة به. والقوة الوحيدة بين الاثنين، هى قوة الجاذبية، الضعيفة نسبيًا.

ويمدنا التأمل فى الكون الظل، بطريقة بسيطة للتفكير فى المادة المظلمة. لقد انشطر الكون إلى مادة عادية ومادة ظل فى زمن بلانك، وتطور كل منهما وفق قوانينه الذاتية. ومن المحتمل أن (هابل) الظل اكتشف أن كونه الظل كان يتمدد، ولنفترض أن بعض فلكيى الظل، فكروا فينا وكأننا مرشحون كمكونات لمادتهم المظلمة. وحتى ربما كان هناك قرين ظل لك فى مكان ما، يقرأ رؤية ظلية من هذا الكتاب.

الأكسيونات.. حصان أسود آخر[٣]

وثمة جسيم كتلى ضعيف التفاعل WIMP مفضل آخر، يطلق عليه "الأكسيون". وهو مثل الفوتينو وشركائه، وقد اقترح الأكسيون، لاعتبارات خاصة بالتماثل. ومع هذا، بخلاف السجسيمات. أنها تأتى من نظريات التوحيد الكبرى، التى تصف الكون عندما كان عمره ٣٥-١٠ ثوانٍ، وليس من نظريات التوحيد الكاملة، التى تعمل فى زمن بلانك.

ومعروف منذ زمن طويل للفيزيائيين، أن كل تفاعل بين الجسيمات الأولية يخضع لتماثل نطلق عليه اختصارًا CPT، وهذا يعنى أننا إذا نظرنا إلى فيلم لأحد التفاعلات، ثم ننظر إلى نفس التفاعل عندما (١) نفحصه فى مرآة. (٢) نستبدل بكل الجسيمات جسيمات مضادة و(٣) ندير الفيلم بطريقة عكسية، سوف تكون النتائج متطابقة. وفى

---

(١) القوة الشديدة والقوة الضعيفة والكهرمغنطيسية والجاذبية. (المترجم)

(٢) وبسبب هذه الخاصية يجب - على وجه التحديد - ألا تدخل المادة الظل، تحت الاسم الشامل WIMP ما دام WIMP يمكنها التفاعل مع المادة العادية خلال القوى غير الجاذبية، ومع ذلك تبقى المادة الظل "مظلمة"، بالمعنى الذى نقصده ونستخدمه فى هذا الكتاب. (المترجم)

(٣) حصان يربح شوط السباق دون أن يتوقع فوزه. (المترجم)

هذا المخطط فإن P يعبر عن التماثل Parity (المرآة)، وC تمثل اقتران الشحنة Charge Conjugation وT لتعاكس الزمن Time Reversal (إدارة الفيلم بطريقة عكسية). وثمة اعتقاد معتاد، أن الكون كان متماثلاً تحت مبدأ CPT لأنه - على الأقل - على مستوى الجسيمات الأولية، التى كانت متماثلة تحت C و P و T بطريقة مستقلة. واتضح أن هذه ليست هى الحالة. ذلك أن الكون الذى تراه فى المرآة ينحرف قليلاً، عن الكون الذى نشاهده بشكل مباشر، كما يبدو الكون عندما ندير الفيلم بطريقة عكسية. وما يحدث هو أن الانحرافات بين الكون الحقيقى والمعكوس، فى كل من هذه الحالات، تلغى بعضها بعضاً، عندما نتفحص الثلاثة انعكاسات مجتمعة.

وعلى الرغم من صحة هذا الأمر، فإنه حقيقى أيضاً أن الكون متماثل تقريباً تحت CP تعمل منفردة وT تعمل منفردة. ويعنى ذلك أن الكون تقريباً متماثل، إذا نظرنا إلى مرآة واستبدلنا بالجسيمات جسيمات مضادة أو نظرنا إليه بشكل مباشر. إن كلمة "تقريباً" هى التى تقلق الفيزيائيين. لماذا تكون الأشياء قريبة من الكمال، ولكنها تفشل فى تحقيق الهدف؟

وفى العام ١٩٧٧، وجد كل من (روبرتو بييشى) و(هيلين كوين)، وكلاهما فى جامعة ستانفورد، طريقا طبيعيا للإجابة عن هذا التساؤل فى إطار نظريات التوحيد الكبرى، وهو طريق اتضح مؤخراً أنه يشتمل على وجود جسيم جديد، لم يكن قد اكتشف بعد. وكان الجسيم الذى اقترحوه، أطلق عليه اسم "الأكسيون". ويفترض أن هذا الأكسيون خفيف للغاية (أقل مليون مرة من كتلة الإلكترون). وأنه لا يتفاعل إلا بضعف بالغ مع المادة الأخرى. إن الكتلة الضئيلة والتفاعل الضعيف، هما اللذان يفسران كلمة "تقريباً" التى كانت تزعج العلماء النظريين.

وأظهرت إحصائيات وحسابات علماء الفلك، أنه فى الكون المتمدد، يتوقع أن تشكل الأكسيونات مجال إشعاع خلفى، شىء مماثل لإشعاع الموجات الدقيقة الخلفية للكون الذى تبلغ درجة حرارته٣ فوق الصفر المطلق أى -٢٧٠,١٥ مئوية

(انظر الفصل الثالث). إن الشذوذيات (عدم الانتظام والاضطراب فى الحركة) فى خلفية هذا الأكسيون، هى التى يمكن أن تؤدى دور المادة المظلمة.

الخلاصة

لقد سجلت بأسفل هذه الصفحة مرشحات المادة المظلمة، مع وصف مختصر لصفاتها المميزة وبيان قصير يشرح لماذا اعتقد الباحثون فى وجودها.

جسيمات التماثل الفائق.. الفوتينوات، سكواركات،... إلخ.

تنبأت النظريات التى توحد كل قوى الطبيعة، بوجود هذه الجسيمات. إنها تشكل مصفوفة من نظائر الجسيمات المألوفة لنا، بيد أنها أثقل بكثير. وقد سميت قياسًا لشركائها، فالسكوارك هو الشريك الفائق التماثل للكوارك، والفوتينو هو الشريك الفائق التماثل للفوتون وهلم جرا. ويمكن أن يكون أخف هذه الجسيمات، هى المادة المظلمة، وإذا كان الأمر كذلك، فإن كل جسيم ربما يزن - على الأقل - أربعين مرة قدر البروتون.

المادة الظل

فى بعض الرؤى، لما أطلق عليها نظريات الأوتار الفائقة، ثمة كون كامل من المادة الظل، يوجد موازيا لكوننا، ولقد افترق الكونان عندما انفصلت الجاذبية عن قوى الطبيعة الأخرى. وتتفاعل جسيمات الظل مع جسيماتنا العادية، من خلال قوة الجاذبية، التى تجعل جسيمات الظل مرشحات مثالية للمادة المظلمة.

الأكسيونات

الأكسيون خفيف للغاية (ولكن يفترض أنه جسيم شائع جدًا). وهذا الجسيم - إذا كان موجودًا - سوف يحل مشكلة طويلة الأمد، فى نظرية الجسيمات الأولية.

ويفترض أن له كتلة أقل مليون مرة، من كتلة الإلكترون، كما يعتقد بأنه يتخلل الكون بطريقة مماثلة، لخلفية الموجات الدقيقة. وسوف يتكون من حشد من الأكسيونات فوق مستوى الخلفية الكلية.

هل توجد الجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل في الشمس؟

عبر كل هذا الفصل، أكدت حقيقة أن كل المرشحات كمكونات للمادة المظلمة، والتى ناقشناها، هى جسيمات افتراضية تمامًا. وليس ثمة دليل بأن توجد واحدة منها - بالفعل - فى الطبيعة. ومع هذا، سوف أكون مقصرًا إذا لم أذكر مجادلة واحدة - مجرد وميض ضئيل من الأمل - التى تميل إلى دعم فكرة وجود الجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل، بشكل أو آخر. وهذه المجادلة لها علاقة ببعض المشاكل التى برزت فى خضم مفهومنا لأنشطة وبنية الشمس.

إننا نعتقد أن طاقة الشمس، تنجم عن تفاعلات نووية تحدث عميقًا فى مركز الشمس. عندئذ - لو كانت تلك هى الحالة - فإن النظرية تخبرنا بأن هذه التفاعلات يجب أن تنشأ عنها نيوترينوات، فى الأساس يمكن اكتشافها وتتبعها فوق كوكب الأرض. ولو كنا نعرف درجة حرارة ومكونات مركز الشمس (كما نعتقد أننا نفعل) فإذن يمكننا التنبؤ بدقة بعدد النيوترينوات التى يجب اكتشافها وتتبعها، لأنه فى العشرين سنة الأخيرة كانت ثمة تجربة تجرى فى منجم للذهب فى ولاية "جنوب داكوتا" (بالولايات المتحدة) لاكتشاف وتتبع تلك النيوترينوات تحديدا، ولكن للأسف، فإن النتائج محيرة؛ إذ إن العدد الذى تم اكتشافه وتتبعه مجرد نحو ثلث مما توقعه العلماء. وهذا ما يعرف بمعضلة النيوترينو الشمسى. والصفة المميزة الثانية للشمس، التى تتعلق بوجود جسيمات WIMPs، يطلق عليها التذبذبات الشمسية. عندما راقب الفلكيون سطح الشمس بعناية، وجدوها تهتز وترتج، وأن الشمس كاملة تنبض لمدد تبلغ عدة ساعات. وتشبه هذه التذبذبات موجات الزلزال، ومن ثم، يطلق الفلكيون على دراستهم "علم الزلازل الشمسى". وما دمنا اعتقدنا بأننا نعرف تكوين الشمس، يجب علينا إذن

أن يكون بمقدورنا التنبؤ بالمواصفات المميزة لموجات الزلزال الشمسى هذه. ومع ذلك فهناك تباينات طويلة الأمد بين النظرية والملاحظة فى هذا المجال.

وحديثًا، لاحظ الفلكيون أنه إذا كانت المجرة بالفعل مليئة بالمادة المظلمة، فى شكل جسيمات WIMPs، إذن، فإن الشمس لابد أنها امتصت - على امتداد عمرها - عدداً ليس بالقليل من هذه الجسيمات. ومن ثم، فإن جسيمات WIMPs سوف تكون جزءًا من مكونات الشمس، وهذا الجزء لم يؤخذ فى الاعتبار حتى الوقت الحاضر. وعندما يتم تضمين جسيمات WIMPs فى الإحصائيات والحسابات، فإنه سوف يتتبع هذا شيئان هما: أولاً، اتضح أن درجة حرارة مركز الشمس أقل مما كنا نعتقد، وبالتالى، فإن عدداً أقل من النيوترينوات قد انبعثت. وثانيًا، أن الصفات المميزة لكتلة الشمس، قد تغيرت بطريقة معينة، تزيد من مدى دقة التنبؤات بالتذبذبات الشمسية.

وهذه النتيجة مجرد بارقة أمل لما قد يحدث فى المستقبل، فيما يتعلق بوجود الجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل، ولكن لا تضفى عليها أهمية بالغة. ويمكن تفسير كلا من معضلة النيوترينو والتذبذبات بشكل دقيق، بالتأثيرات التى ليس لها علاقة بالجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل. وعلى سبيل المثال، فإن نوع تذبذبات النيوترينو التى نوقشت فى الفصل العاشر، يمكنها حل معضلة النيوترينو الشمسى، حتى لو كان للنيوترينو كتلة بالغة الضآلة، كما يمكن للتغيرات العديدة فى تفاصيل البنية الداخلية للشمس، أن تفسر التذبذبات. وعلى الرغم من ذلك، فإن هذه الظواهر الشمسية، التى تمثل الإشارة الوحيدة التى لدينا، أن واحداً من المرشحات الغريبة للمادة المظلمة، ربما يوجد بالفعل.

الديناصورات والمادة المظلمة

كل هذا الحديث عن التماثل الفائق والنظريات الأساسية، يعطى للمجادلة عن طبيعة المادة المظلمة نمطًا متفرداً، لا يمت بأى صلة للطريقة التى تجرى بها بالفعل المناقشات بين علماء الكون. وأكثر الأشياء التى أفضلها عن هذا المجال، هو أن كل شخص فيه، يبدو أن بمقدوره حفظ روح المرح والأمل عن عمله أو عملها.

ومنذ فترة مضت، وفى حديث مع مجموعة من علماء الكون، عن انقراض الديناصورات، شرحت لهم، أن إحدى النظريات تنص على أن الشمس، أثناء دورانها حول مجرة الطريق اللبنى، تتحرك - على فترات منتظمة - أعلى مستوى المجرة، وعندما تقوم بهذا، فإن الغبار الموجود فى هذا المستوى، يتوقف عن حماية كوكب الأرض، ومن ثم، فإنه يغرق فى الإشعاعات الكونية المهلكة، التى قد تتخلل الكون، كما يعتقد مؤلفو هذه النظرية. ومن آخر القاعة التى كنت ألقى فيها المحاضرة، تساءل أحد خريجى الجامعة وهو ينتفض واقفًا "هل تعنى أن الديناصورات انقرضت بتأثير إشعاع الفوتينو؟".

انفجرنا جميعًا فى الضحك. إذ إن التلاصق بين الحفريات المتحجرة[1] الحقيقية الضخمة والموحشة - والتى لا سبيل إلى الشك فيها - والتى توجد فى المتاحف، كان ربطها بالفوتينو ذلك الجسيم الافتراضى والنظرى، أمرًا مضحكا لشدة سخافته، وهذا الأسلوب الذى يتسم بالمرح، لأحد أهم الأسئلة الأساسية فى علم الكون الحديث - يسعدنى القول - تطابق الحالة الذهنية للعلماء الذين يعملون فى هذا المجال. إذ إنها تساعد فى أن تجعل هذا الموضوع الشديد التعقيد، ممتعًا للغاية.

(١) بقايا الحيوان والنبات المتحجرة فى الأرض والتى ترجع إلى عصور موغلة فى القدم. (المترجم)

الفصل الثانى عشر

الأوتار الكونية حل أم مخادعة؟

"اصمتوا يا أولاد، وأغلقوا أفواهكم، سوف أحكى لكم جميعًا قصة مخيفة

اصمتوا يا أولاد، وأغلقوا أفواهكم، سوف أحكى لكم عن الدودة..!!".

أغنية شعبية أيرلندية

ثمة شىء يجب أن يكون واضحًا منذ البداية. أن الأوتار الكونية، موضوع هذا الفصل، والأوتار الفائقة التى تحدثت عنها فى الفصل الحادى عشر، شيئان مختلفان تمامًا. والعلاقة الوحيدة التى تربط بينهما هى اسماهما فحسب.

وتعد الأوتار الفائقة أصغر من أصغر جسيم أولى، بيد أن الأوتار الكونية ربما تمتد من جانب إلى آخر خلال أجزاء كبيرة من الكون. وفى بعض صيغ النظريات، فإنها - فى واقع الأمر - تجرى عبر الكون برمته، مثل وتر عقد اللؤلؤ. وأحيانًا يجنح بى الخيال، فأحب أن أفكر فى الأوتار الكونية، وكأنها إعادة التناسخ للثعبان الأسطورى الذى يلتهم ذيله[1]. وكان هذا رمز مصرى قديم، يتكون من أفعى تأكل ذيلها. وفى علم الكون الإسكندنافى القديم ثمة أفعى تحيط بالكون، خفية إلى الأبد، بيد أنها تبذل إلى ما لا نهاية تأثيرها على المواد الأرضية. وأى فرد يود التعمق فى دراسة

---

(١) يكون هذا الرمز فى شكل دائرى، ويرمز إلى الطبيعة الدورية للكون، خلق من الدمار والحياة بعد الموت، وكان هذا يوحى بالخلود فى مصر القديمة. (المترجم)

بعض النقاط، سوف يكون قادراً على إدراك العلاقة بين الأساطير القديمة، والمفاهيم الجديدة فى علم الكون.

ما الأوتار؟

كما يلمح إليه الاسم، فالأوتار الكونية كيانات طويلة للغاية، ذات بعد واحد، تمتد فى الفضاء. وإذا كانت موجودة (و - كما سوف نرى - أن هذا أمر تكتنفه الريبة الشديدة) فإنها ستكون ضخمة بشكل مروع. وفوق سطح كوكب الأرض، فإن قطعة من الوتر الكونى طويلة بما يكفى لتمتد من ذرة إلى أخرى، سوف تزن مليون طن!

أما القطعة من الوتر الكونى التى تكون فى حجم حبة رمل، فإنها سوف تحتاج إلى أسطول من الشاحنات القلابة، تلتف ثمانى مرات حول خط الاستواء، لكى تتحمل وزنها، ويسبب كتلتها المروعة، فإن الوتر يمارس شداً تجاذبياً قوياً على المادة من حوله. وبالتالى، فإنها تكون مثالية لتؤدى دور المادة المظلمة، فى تشكيل البنية ذات المستوى الهائل فى الكون.

وتخبرنا الكتلة الجبارة، أنها لابد أن تكون قد خلقت فى وقت مبكر للغاية، من عمر الكون، عندما كانت الحرارة مروعة وكان هناك فيض غامر من الطاقة متوفر لتكوين أجرام فضائية غريبة. ويقينا، فليس ثمة عملية فى كوننا المعاصر - سواء بفعل الإنسان أو الطبيعة - يمكن أن تنتج الطاقات اللازمة لتكوين وترى كونى. وإذا وجدت هذه الأوتار الكونية، فإنها لابد وأن تكون بقايا من وقت أكثر قدماً فى الزمن.

وليست الأوتار أكثر ضخامة من أى شىء يمكن أن نخلقه فحسب، ولكنها إذا وجدت، فإنها ستكون من مادة ذات شكل جديد تماماً. والصورة المألوفة الجسيم مثل البروتون، عبارة عن كتلة غير محددة المعالم. إننا ندرك - بطريقة عقلانية - أن البروتون يمكن أن يعتبر أيضاً حزمة من الطاقة النقية (الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) بيد أنه أمر بالغ الصعوبة، أن نتخيل البروتون بهذا الشكل. وفى معظم

المواقف، لا يسبب ذلك التكافؤ بين الطاقة والكتلة، أية صعوبات. ومع هذا، فإنه بالنسبة للوتر الكونى، علينا أن نواجهه على مستوى جوهرى، وذلك أمر ليس سهلاً على الإطلاق.

تكوين الأوتار الكونية

لكى نتفهم طبيعة الأوتار الكونية، علينا أن نعود إلى زمن موغل فى القدم، عندما كان عمر الكون $١٠^{-٣٥}$ ثوانٍ ، بعد الانفجار الكبير، عندما تجمدت القوة الشديدة، وتضخم الكون، وقتئذ يمكن أن نعتبر الأوتار كمنتج ثانوى، لعملية التجميد ذاتها. وعندما يتجمد الماء، فإنه يتحول من حالة التماثل العالية إلى تماثل أقل. وما أعنيه هو ما يلى: لنفترض أنك فى وسط بلورة ثلجية، ويمكنك أن تدير هذه البلورة ستين درجة وأن البيئات المحيطة بك متطابقة من حيث المظهر، مع ما بدأت به. وهذا ما نعنيه، عندما نقول بأن الكسفة الثلجية متماثلة. بيد أن ذلك نوع محدود من التماثل، فإذا أدرت البلورة عشر درجات أو أربعة وثلاثين درجة، سوف تلاحظ على الفور تغير البيئة المحيطة بك. ومن ناحية أخرى، إذا كنت طافيًا فى الماء، فإن هذا التحديد لن يكون موجوداً . بغض النظر عن الطريقة التى تستدير بها، سوف ترى نفس البيئات تمامًا، دون أى تغيير. وبالتالى، فإنه بالنسبة للفيزيائى، تكون نقطة الماء، التى تبدو رقيقة ومتوافقة، لها تماثل أعلى يفوق كسفة الثلج أو بلورة الجليد.

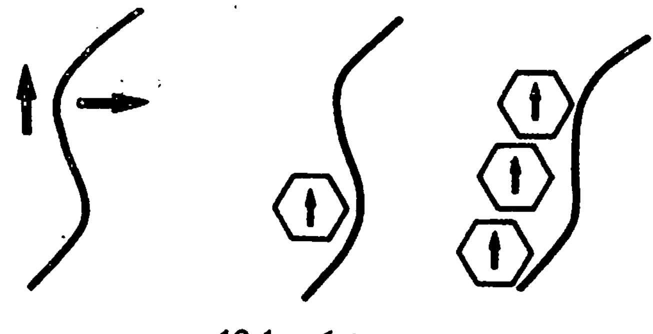
إننى أمعن التفكير فى تلك النقطة تحديدا، لأن أسلوب الفيزيائى فى استخدام اصطلاح "التماثل" ليس ذلك المستخدم فى لغتنا الدارجة اليومية.

إن تجميد الماء يمكن التفكير فيه كانتقال من تماثل أعلى إلى تماثل أقل، وبالمثل، فإن تجميد نظرية التوحيد العظمى، يمكن أن نفكر فيها كانتقال من كون له تماثل أعلى (أى كون فيه قوتان فقط فى الطبيعة) إلى كون له تماثل أقل (أى كون فيه ثلاث قوى). وكما رأينا فى الفصل الحادى عشر، فإن النظريات الحديثة للتماثل الفائق تعتمد

بوضوح على هذا النمط من التفكير. إذن يمكننا التعرف على شيء ما عن تجميد نظرية التوحيد العظمى، بمراقبة تجميد الماء، على سطح بحيرة مفتوحة.

إذ لا يتحول سطح البحيرة فجأة إلى لوح من الثلج، عندما تنخفض درجة الحرارة عن الصفر المئوى. وبدلاً من ذلك ينمو الثلج إلى الخارج، من عدة بقع متعددة على الشاطئ، حيث يبرد الماء فى الأماكن الضحلة، بشكل أسرع. وداخل كل رقعة من الثلج، تصطف البلورات فى نفس الاتجاه، بيد أن البلورات فى إحدى الرقع، لا يلزم أن تكون فى نفس اتجاه البلورات فى رقعة أخرى. ولو حدث هذا، فسوف يكون الأمر لافتًا للنظر، لأن هذا يعنى أن رقعة الثلج التى تنمو فى أحد جوانب البحيرة، "تعرف" ما الذى تفعله رقعة على الجانب الآخر. وإلا، فكيف أنها تجعل بلوراتها تصطف بالطريقة الصحيحة؟

ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة، تظل رقع الثلج فى النمو إلى أن تلتحم معًا وتغطى البحيرة بأكملها. وأنه لمن الممتع أن نفكر فيما يحدث، عندما تتقابل رقعة ثلج مع أخرى. وإذا حددنا اتجاهًا واحدًا من محاور التماثل للبلورات، فى كل رقعة بعلامة سهم، كما هو واضح إلى اليسار فى شكل (١-١٢) (صفحة ١٦٢)، وعندئذ، ففى الموقع الذى تلتقى فيه رقعتان، يكون هناك تغير غير مترابط، من اتجاه فى التماثل لآخر. ويمكنك غالبًا رؤية تلك المواقع على سطح بحيرة ما، بقع يكون فيها الثلج أكثر سمكًا - إلى حد ما - وأكثر تكتلاً، عن أى مكان آخر. ويطلق على خط الالتحام "شائبة" فى الثلج المتبلور.



الشكل 12.1

والأمر الجدير بالملاحظة عن هذه الشوائب، أنها تتضمن طاقة، ولكى نتعرف على السبب فى هذا، تخيل ما الذى قد يحدث لو أنك استطعت إحضار بلورة ثلج منفردة، إلى حافة رقعة ثلج واحدة، كما هو ممثل كخط موجى فى مركز الشكل (١-١٢) وسوف تقوم القوة التى تبذلها الذرات فى رقعة الثلج، بتحريك البلورة، بحيث إنها تعيد ترتيب وضعها وتنتظم على طول نفس محور رقعة الثلج، وهذه هى الكيفية التى ينمو بها الثلج عادة، بإضافة مادة جديدة تصطف مع رقعة الثلج الموجودة بالفعل.

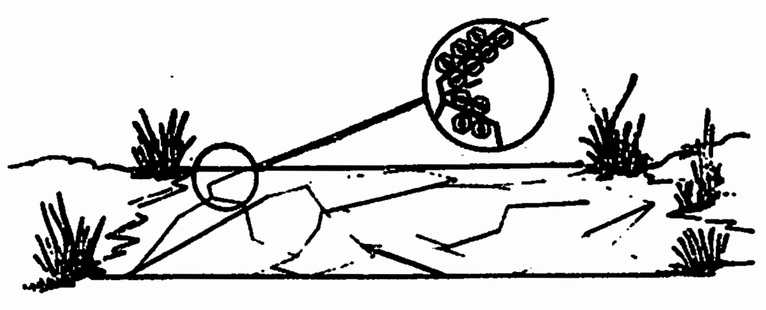
والآن انظر إلى الموقف بطريقة أخرى: فالترتيب البنيوى الذى يتضمن البلورة الجديدة المصطفة مع رقعة الثلج، يمثل أقل مستوى من الطاقة، يمكن للمنظومة أن تصل إليه. وإذا تركت هذه المنظومة حرة دون أى تأثير، فإنها سوف تهبط إلى ذلك المستوى طبيعياً، مثل كرة تركت على جانب تل، فإنها ستتدحرج إلى أسفل حتى القاع، وللاحتفاظ بالبلورة فى اصطفاف مختلف، كما لو كانت موجودة فى رقعة ثلج، على الجانب الآخر من الشائبة، ويجب وضع الطاقة فى تلك المنظومة.

وبالتالى، عندما تتشكل الشائبة، ويكون هناك عدد كبير من البلورات فى غير اصطفافها الطبيعى (كما هو موضح إلى اليمين فى الشكل ١-١٢)، لابد أن هناك طاقة "محبوسة" فى المنظومة. وإذا أمكن تغيير الاصطفاف، فى هذه الحالة، يمكن استخلاص الطاقة من المنظومة.

ربما تكون قد تابعت المجادلة حتى هذه النقطة. والآن يأتى الجزء الذى تتوقف فيه فجأة، وترفض المتابعة. ذلك أن بالشائبة طاقة مخزونة، ومن ثم فإن هذه الرقعة الثلجية تزن أكثر من رقعة مجاورة لها. وهذا استنتاج منطقي لمعادلة: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء. وهى نتيجة لا نفكر فيها عادة، ولكنها - فى واقع الأمر - حقيقية على الرغم من ذلك. فالجسم الذى أضيفت إليه طاقة، تكون كتلتة أكبر، ومن ثم يزن أكثر - مما كان عليه من قبل. إذ إن مصيدة الفئران المجهزة تزن أكثر من مصيدة فئران غير مجهزة. إننا لا نفكر فى مثل هذه الأشياء فى حياتنا اليومية، إذ ليس ثمة ميزان يمكنه أن يقيس هذا التغير بالغ الضآلة، الذى يكون حتى أقل بكثير من كتلة أصغر جسيم

أولى. وأنه فقط عندما نتعامل مع الكتل الضخمة للغاية، والطاقات الهائلة، تحت الظروف المروعة التى كانت متوفرة فى الكون المبكر، أننا نتذكر استدلالات تكافؤ الكتلة والطاقة.

وإذا أمعنا النظر فى سطح لوح ثلجى مكون حديثًا، لرأينا شيئًا يشبه ما هو موضح فى الشكل (٢-١٢) مع وجود خلفية منتظمة إلى حد ما، تتوافق مع رقع الثلج التى تنمو مستقلة عن بعضها، وسوف تكون هناك سلسلة من تشكيلات تشبه العروق، ذات كتل أكبر قليلاً، أنتجتها الشوائب التى تكونت على طول التحامات الرقع الثلجية.



الشكل 12.2

ويفترض أن نفس هذا الشىء قد حدث، عندما تجمد الكون فى الوقت ٣٥-١٠ ثانية. ولم يتغير الكون إلى حالته الجديدة فجأة، وفى التو واللحظة. ومثل الثلج فوق سطح البحيرة، نمت الحالة الجديدة، من نقاط تكوين نوى متباينة. وتشكلت الشوائب كالتحامات لرقع الثلج، وبسبب تلك الطاقات المروعة التى توفرت فى ذلك الوقت، اكتسبت كتل هائلة. والأوتار الكونية هى أحد أنواع الشوائب، التى يمكن أن تتشكل أثناء تجمد الكون.

والكثير - وليس الكل - من نظريات التوحيد العظمى والتماثل الفائق، تنبأت بتشكيل الأوتار الكونية فى التجميد الذى حدث فى الوقت 10^{-35} ثوانٍ.

وعلى الرغم من أن نظريات متباينة لم تتنبأ بأوتار كونية متطابقة تمامًا، فقد تنبأت بالتأكيد، بأوتار لها نفس الخواص العامة.

وأحد الأمور الجديرة بالملاحظة - كما سبق أن ذكرنا - أن الأوتار ذات كتل بالغة الضخامة. كما أنها أيضاً رفيعة للغاية. فعلى سبيل المثال، فإن المسافة عبر الوتر، أقل بكثير من المسافة عبر البروتون[1]. ولا تحمل الأوتار أية شحنة كهربائية، ومن ثم، فإنها لا تتفاعل مع الإشعاع، كما تفعل الجسيمات العادية. وتتكون الأوتار بأشكال متعددة - خيوط طويلة متموجة، وأنشوطات مهتزة، وحلزونيات ثلاثية أبعاد، وهلم جرا. وبكل وضوح، فإن الأوتار مرشحات مثالية لتكون مادة مظلمة، إذ إنها تبذل شداً تجاذبياً، ولم يمكن تدميرها بواسطة ضغط الإشعاع في الكون المبكر.

الأوتار والمجرات

ما أن تتشكل الأوتار الثابتة، حتى تستقر لمدة طويلة، كما سوف نرى. ومنذ الوقت الذى تشكلت فيه عند 10^{-35} ثوانٍ، كونت تكتلاً هائلاً يعد الخلفية التى تطورت فيه الجسيمات والنوى والذرات، وحققت أهدافها فى الكون.

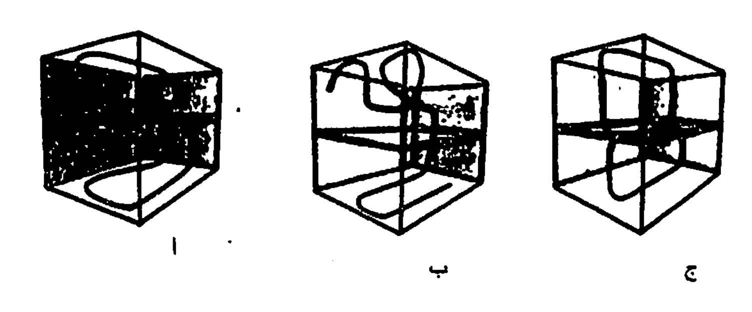
وما دامت الأوتار لم تتأثر بضغط الإشعاع مثل البلازما، إذن يمكنها أن تعمل كنواة متكاثفة - بذوراً - لتشكيل المجرات، والعناقيد المجرية، والعناقيد المجرية الفائقة، شريطة أنه يمكنها البقاء فترة طويلة كافية لتحقيق ذلك. كان المتحدث الرئيسى لفكرة الأوتار الكونية، هو (نييل تورروك) الفيزيائى النظرى الشاب، الذى يعمل أصلاً فى كلية إمبريال فى لندن. وقد قضى تورروك زمناً طويلاً فى الولايات المتحدة الأمريكية، ويسعدنى القول، إن جولاته شملت قسمى القديم فى جامعة فيرجينيا. لقد جعل عمل حياته (بقدر ما يمكن أن ينطبق هذا القول على رجل لم يصل إلى الثلاثين بعد) إماطة اللثام عن سلوك الأوتار الكونية، وتفسير معادلات النظرية المعقدة للمجال الكمى، التى تصفها. وأسلوب تورروك مثير للإعجاب لشموليته ودقته التى بلغت أوجها: وبدلاً من اتباع المسار العادى فى البحث، بأن تميط اللثام عن سلوك الأوتار الكونية ثم تترك

---

(١) إن السُمك المقدر للوتر هو 10^{-30} سنتيمترا، مقارنة بـ 10^{-13} للبروتون. (المترجم)

للآخرين إيجاد تأثير الأوتار، على مشكلة المجرات وكيفية تشكلها، قرر (توروك) ومن معه من العلماء الشباب أن يتعلموا علم الكون. وليس من المعتاد أن الباحثين، وهم فى قمة حماسهم لاكتشاف فرع جديد من المعرفة، أن يتوقفوا عن أبحاثهم ليعلموا أنفسهم بهذه الطريقة. والأكثر غرابة من هذا، حقيقة أن أكثر النقاد قسوة على الأوتار الكونية - ويدعى (ب.ج.أ. بيبلس) من جامعة برتستون - كان هو المعلم الخاص لهم. والرأى عندى، أن هذا التعاون الوثيق بينهم، هو تعبير عن أرقى النماذج المثالية؛ للمجتمعات العلمية.

ويبدو أن الصورة التى تنبع من عمل (توروك)، تحمل فى طياتها الحل لكثير من المشاكل التى وضعت فى هذا الكتاب الذى بين أيديكم. كما أنه من السهل تكوين صورة ذهنية لها. ووفق محاكاة[1] الحاسوب - خلال عملية تجميد نظريات التوحيد العظمى - كونت الشوائب سلسلة طويلة ومتصلة، مثل تلك الموضحة فى أ بالشكل (٣-١٢) عندئذ كانت الأجزاء المختلفة من الأوتار تندفع خفاقة حولها عبر الفضاء، وهى تتحرك تقريبًا بسرعة الضوء. وعندما تتقاطع الأوتار الأولية - كما هو موضح فى نفس الشكل - فإن أبحاث توروك تبين أن الأنشوطة الظاهرة تنفصل وتتحطم.



الشكل 12.3

(١) وضع برنامج على الحاسوب يجعله يحاكى مسلك منظومة ما لدراستها. (المترجم)

حينئذ، وبعد فترة قصيرة، امتلأ الكون بأنواع متباينة من الأوتار الكونية مختلفة الحجوم والأشكال. فالبعض منها كان مثل الخيوط الأفعوانية والطليقة والخفاقة. ويمكن لمثل هذه الأوتار أن تجذب المادة المحيطة إلى مستوى معين، بينما هى تخفق رائحة غادية.. والشكل المألوف للوتر كان مثل أنشوطة مغلقة، مشابه لذلك النوع الموضح فى ب. وتلك الأنشوطات هى التى كانت تجول فى ذهنى، عندما ذكرت "الثعبان الذى يلتهم ذيله". وحول هذه الأنشوطات، أخذت المادة تنجذب إليها، وتتجمع فى شكل عنقود كروى أو على شكل سيجار. والأمر المثير للاهتمام عن هذه الأشكال - على الرغم من ذلك - ليس نظامها الهندسى فى المقام الأول، بل أيضًا مراحل تطورها. فعلى سبيل المثال، لو حدث، أنه خلال مرحلة تذبذبات الأوتار الكونية فى الفضاء، لابد أن أنشوطة، قد اتخذت شكل "ثمانية" باللغة الإنجليزية 8، وعندما يتقاطع خط من الوتر مع آخر، فإن هذه "الثمانية"، سوف تنشطر إلى أنشوطتين منفصلتين، كل واحدة منها، جزء من "الثمانية" الأصلية، كما هو موضح فى ج بالشكل (٣-١٢) وأطلق (توروك) على هذه العملية "انسلاخ الأنشوطات". وهكذا، فما أن تتشكل الأوتار الكونية، فإنها لن تبقى ككيانات ساكنة فى الفضاء. بل سوف ينتابها التغير بينما تتحرك هنا وهناك، مع الأنشوطات الضخمة التى ستصبح أصغر حجمًا مع مرور الزمن. وعلى الرغم من أن هذا الأمر يجعل من نظرية الأوتار أكثر تعقيداً، فإنها تعطينا أيضًا فرصة لاختبار مدى صحتها مع الأرصاد والملاحظات الفعلية. وبعد اقتفاء أثر تطور الأوتار عبر مرور الزمن، يمكننا أن نسأل أنفسنا عن كيفية انتظام المادة التى انجذبت إليها. ولو أخبرتنا النظرية بأن الأوتار جميعها تتشكل كأجزاء من أجرام فضائية فى حجم المجرات (أو أصغر)، قبل فك اقتران الإشعاع، إذن، فإن نظرية الأوتار تتنبأ بكون تتبعثر فيه المجرات - إلى حد ما - بطريقة عشوائية عبر كل الفراغ. ومن جهة أخرى، إذا حدث وظلت الأوتار فى حجم العناقيد الفائقة المجرية، فإننا نتوقع كونًا تكون فيه كل المجرات، تنتظم فى سلسلة، على طول خطوط فى الفضاء، موسومة بالأوتار. وبالطبع، فإن الكون

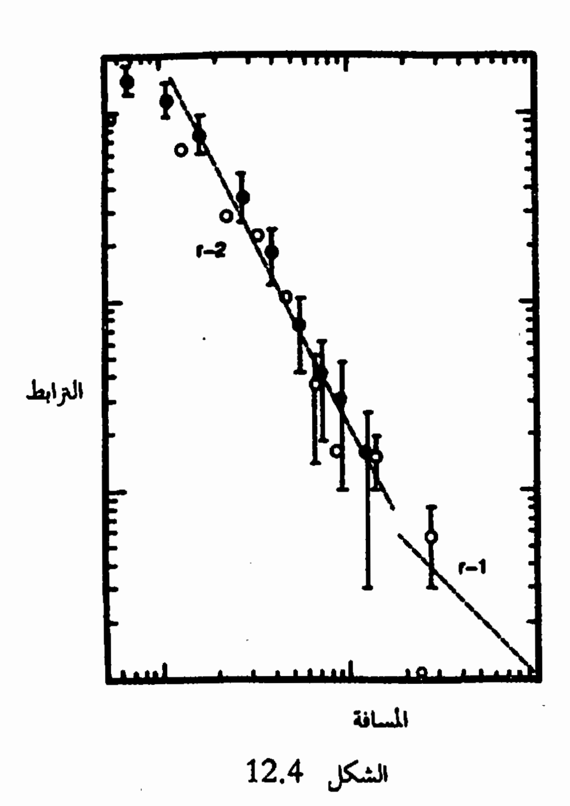
الفعلى يقع فى مكان ما بين هذين الرأيين المتطرفين، على الرغم من أنه يكون أشد قربًا، من الأخير أكثر من الأسبق.

وواحد من أعظم إنجازات أبحاث توروك وزملائه، تحقق أثناء حسابهم لمدى قوة الترابط المتوقعة للمجرات، لو أن الأوتار موجودة بالفعل. إن قوة الترابط - كما تتذكر - هى احتمالية وجود مجرة عند موقع معين فى الفضاء، فلابد من وجود مجرة أخرى عبر مسافة معينة من المجرة الأولى. وفى كون عشوائى بالكامل، فإنك تتوقع أن تجد مجرات تفصل بينها مسافات متباينة، ولن يكون أى فصل مشابه لغيره. ومن جهة أخرى، فإن أى تنظيم دقيق للكون، حيث توجد بين المجرات كلها، نفس الفواصل الزمنية تماما، حيث تكون قوة الترابط تساوى صفرًا فى كل مكان، إلا عند ذلك الفاصل المختار.

وباستخدام ميكانيكا الأوتار الكونية[1]، يمكننا أن نتوصل إلى كيفية تكتل المادة - فى معظم الأحيان - حول أنشوطات ذات أحجام متباينة وكذلك المستويات، ومن هذه النقطة يمكننا أن نتنبأ بعدد المرات التى نتوقع فيها إمكانية المجرات أن تقع فى مجموعات بمختلف الأحجام. وهذا يعنى أنه عندما تم حساب الأحجام المتوقعة للأوتار الكونية، فإن الفواصل المحتملة بين المجرات، يمكن حسابها أيضًا. ويوضح الشكل (٤-١٢)، ما أعتقد أنه أقوى برهان متاح عن حقيقة الأوتار الكونية.

---

(١) علم خاص بدراسة حركة الأجرام الفضائية، فى مجالات الجاذبية المتبادلة بينها. (المترجم)



الشكل 12.4

فعلى المحور الرأسى نخطط بيانيًا عن طريق الإحداثيات قوة الترابط، أما فى الخط الأفقى، فإننا نخطط لمسافات الانفصال بين المجرات. ويمثل الخط الثابت، التنبؤ بالاحتمالية التى يمكن استنباطها من نظرية الأوتار، بينما تمثل النقاط تلك البيانات التى تم الحصول عليها من الأرصاد والملاحظات. (توضح الخطوط الرأسية المرفقة بالنقاط، اللا محققيات[١] التى يشعر الفلكيون بها كامنة فى قياساتهم)، والتوافق ما بين التنبؤ والأرصاد والملاحظات، لافت للنظر.

(١) قاعدة وضعها العالم الفيزيائى (فيرنر هيزنبرج) مؤداها أنه لا يمكن تعيين كل من مكان جسيم ما، وكمية حركته بالدقة نفسها. فإذا زادت الدقة في تعيين المكان زاد "عدم اليقين" فى تعيين السرعة. (المترجم)

ولو قبلنا هذا الدليل، فإن صورتنا الذهنية عن الكون المبكر، لاتزال أخاذة أكثر. وبعد فترة وجيزة، من تجميد نظرية التوحيد العظمى، كان الكون مثل هوة مروعة، تطن فى كل مكان منه، كل من الأوتار الكونيــة الحـرة وتلك التى فى الأنشــوطات، حـيث تتصـادم ببعضـها وتطرح الأنشوطات، وتشارك فى التمدد الكونى. ومع مرور الزمن، مرت المادة العادية بمجالات التجميد المتباينة المبينة إجمالاً فى الفصل الثالث، وبقيت الأوتار فى الخلفية، حيث تطورت وفقًا لقوانينها الذاتية. وطوال تلك الفترة، قامت أيضًا ببذل شد تجاذبى، على المادة الأخرى الموجودة، مما جعلها تتجمع فى شكل كتل، أصبحت مجرات فى نهاية الأمر. وهذه التجمعات من المادة حول الأوتار تتكون من كل من المادة المظلمة والمادة العادية، إذ إن كليهما متأثران بالقوة التجاذبية. ومن خلال وجهة النظر هذه، تتخذ المجرات شكلها مع مكوناتها من المادة المضيئة والمظلمة، الموجودة بالفعل داخلها. والمجادلات المعقدة عن التحيز، والتى تحتاج إليها نظريات المادة المظلمة الباردة، ليست لها ضرورة هنا.

وفضلاً عن ذلك، فليس ثمة صعوبة فى شرح البنى الكونية مثل العنقود المجرى الفائق المروع (الفرس الأعظم - الجبار) ومن الطبيعى أن يجذب الوتر الكونى الطويل المادة إليه، وهذه المادة سوف تكون المجرات طبيعيا، وستبدو هذه المجرات مثل خرزات فى عقد. وسوف تكون الأشكال الأخرى من الأوتار، أنواعًا أخرى من العناقيد المجرية. ولعل الرفض الثابت والحازم، أن الكون يظهر تجانسًا - عندما ننظر إلى أضخم المستويات فيه - يعكس، ببساطة، الحقيقة بأن الكون ليس متجانسًا. وهذه الخاصية هى إرث للدقيقة الأولى، عند تجميد نظريات التوحيد العظمى، مما أدى إلى تشكيل الأوتار، بنفس الطريقة التى كون فيها الثلج بنى على سطح البحيرة المتجمدة.

أين توجد الأوتار الكونية ؟

تعطينا الأوتار الكونية رأيًا معينًا جديرًا بالاهتمام عن الكون، فعلى سبيل المثال يبدو أنه فى مركز كل مجرة يربض وترًا كونيًا ملتفًا على نفسه، مثل "الثعبان الذى

يلتهم ذيله" الأسطورى. ونتساءل: هل كان مبتدعو الخرافات القدماء - بالفعل - قد اقتربوا إلى هذا الحد من الحقيقة؟ أيمكن للمرء أن يسير على حبل مشدود كالبهلوان (مبدئيًا على أية حال) على طول امتداد العنقود المجرى الفائق (الفرس الأعظم - حامل رأس الغول) الذى يبلغ بليون سنة ضوئية؟ وبمعنى آخر، هل مازالت الأوتار الكونية تحيط بنا من كل جانب؟

ولسوء الحظ، تخبرنا النظريات المعاصرة أن هذا الأمر - إلى حد ما - يمثل رأيًا شاعريًا عن الكون، وأنه ليس من المرجح أن يكون حقيقيًا. ويرجع السبب إلى أمر بسيط: أن الأوتار الكونية لا تعيش إلى الأبد، بل إنها تفنى ببطء. وتعيش الأوتار الأضخم أطول، أما أصغرها فإنها سرعان ما تفنى. وفقط تظل الأوتار البالغة الضخامة باقية إلى الوقت الحاضر.

والعملية التى تختفى بها الأوتار الكونية، يمكن فهمها بمساعدة تشابه مألوف. إذا جذبت وترًا فى جيتار، فإنه يهتز وتتصاعد موجات منه إلى الهواء، وترتحل هذه الموجات من الوتر إلى أذنك، حيث يمكن إدراكها كصوت، إن الموجات تتكون من جزئيات هواء متحركة، وهذه الحركة للجزيئات تستمد طاقتها من الوتر. ومع استمرار الاهتزازات، فإن الإمداد بالطاقة الأولية، يأخذ فى البطء، ثم يتضاءل بتصاعد الموجات الصوتية. وفى نهاية الأمر، تستنفد الطاقة، وتتوقف التذبذبات. وهذا هو نفس ما حدث للأوتار الكونية. ففى مرحلة الهوة المروعة للكون - التى كانت تتميز بالفوضى وعدم الانتظام - كانت كل الأوتار فى حركة عنيفة، وفى حقيقة الأمر كأنما "جذبت" كأوتار الجيتار المشدودة. وتخبرنا النظرية النسبية العامة لأينشتين، بأنه إذا تم تعجيل[1] شىء فى مثل ضخامة الوتر الكونى، سوف تنبعث عنه موجات. كما أنه لن يبعث بضوء أيضًا، أو أى نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسى، ذلك أن الوتر الكونى لا يحمل أى شحنة كهربائية. وما يصدر عنه هو شىء يطلق عليه "الموجات التجاذبية". وكما أن

---

(١) التعجيل: ازدياد سرعة الجسيمات المشحونة. (المترجم)

الموجات الصوتية تتحرك فى نقطة تجعل الهواء يتحرك بدوره، كذلك، فإن الموجات الكهرومغناطيسية تجعل شحنة كهربائية تتحرك، وأيضًا فالموجات التجاذبية المتحركة فى اتجاه ما، تدفع المادة إلى التحرك. وعما إذا كانت الموجات التجاذبية قد تم اكتشافها وتتبعها بالفعل فى المختبر، يظل موضوعًا للمجادلة بين الفيزيائيين التجريبيين، ولكن لأهدافنا فى هذا الكتاب، فإننا فى حاجة فقط لملاحظة أن الموجات التجاذبية، تمد الأوتار الكونية بوسيلة لكى تشع، بتحويل طاقتها إلى موجات.

ولكن ثمة اختلاف بين الجيتار والوتر الكونى. ذلك أنه فى الجيتار، تكون الطاقة المتاحة للتحويل إلى صوت، هى تلك الطاقة التى تنبعث من التذبذب فقط. وعندما تستنفد، فإن الوتر يتوقف عن التذبذب، ويبقى خاملاً. وليست ثمة تقنية للتطبيق الآلى (ما عدا وضع الوتر الكونى فى مركز مفاعل نووى!)، يمكن بواسطتها تحويل طاقة وكتلة الوتر إلى صوت أيضًا.

ومن جهة أخرى، فإن الوتر الكونى مفعم بالطاقة كما هو معروف. وما إن يبدأ فى إطلاق الموجات التجاذبية، فإن هذه العملية تستمر، على أن يفنى نفسه ويختفى عن الوجود، بسبب ما أطلقه من إشعاعات. وعندما تستنفد طاقته، فلن يتبقى منه شىء. ومن ثم، فمن الممكن استخدام معدلات فقدان الطاقة – التى تنبأت بها النظرية النسبية العامة – لحساب المدة التى تبقى فيها الطاقة "مخزونة" فى أى وتر كونى.

وفى الحقيقة، لقد كانت هناك فترة عصيبة فى ربيع وصيف العام ١٩٨٦، عندما تبين أن الأوتار الكونية، حياتها قصيرة للغاية، لكى تؤدى دورها فى تشكيل المجرات، وأنها سوف تطرح الأنشوطات وتظل تشع نفسها حتى تفنى وتختفى من الوجود، قبل فك اقتران المادة والإشعاع العادى. وفيما يبدو أن الحسابات المعاصرة، تظهر أن الأنشوطات بمقدروها أن تشكل "بنور" المجرات، وأنها سوف تستمر لفترة كافية لتقوم بهذه المهمة، بيد أنها لن تبقى منذ الزمن الموغل فى القدم، إلى الوقت الحاضر. وبمعنى آخر، فليس ثمة "ثعبان ملتهم لذيله" فى مركز مجرة الطريق اللبنى، على الرغم من أن الأوتار الكونية التى تساهم فى تشكيل العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة، مازالت رابضة هناك.

وطبقًا للرؤية المعاصرة للنظرية، فإن مجرة الطريق اللبنى - فى الأصل - قد تكاثفت حول وتر كونى، بكتلة تبلغ نحو جزء من مائة من كتلة المجرة الحالية، وطولها كان حوالى مائة سنة ضوئية. وبمعنى آخر، فإن "البذرة" المجرية بلغ ثقلها مثل كتلة مائة مليون نجم - كشمسنا - تقريبًا، وبطول يمكن مقارنته بثلاثين من الانفصالات بين النجوم العادية، فى المجرة الحالية. وبعد أن جمعت مجرة الطريق اللبنى، كلاً من المادة المضيئة والمادة المظلمة، قامت بإشعاع نفسها وتلاشت عن الوجود، وربما تكون قد اختفت فى عصفة من "الدخان"، مكونة أنواع من الجسيمات الغريبة، التى تمت مناقشتها فى الفصل الحادى عشر. وتراثها الوحيد: مجرة الطريق اللبنى ذاتها.

البحث عن الأوتار الكونية

ربما تجد هذا السيناريو سطحيًا ومراوغًا بعض الشيء. ومفاده أن المشكلة المحيرة لتشكيل المجرات يمكن التوصل لها، بتركيب نظرى مثل الأوتار الكونية، وأن تلك الأوتار قد اختفت عنوة، ومن ثم فلا يمكن اكتشافها وتتبعها فى الوقت الحاضر. وربما كان شيئًا بالغ الروعة بحيث يصعب تصديقه. وأن لها بلاغة الإعلان التلفازى وبعض ثقاة علماء الكون (سرًا على الأقل) يطلقون على الأوتار الكونية "الخداع"، مشيرين بذلك إلى "دواء" الماضى الذى كان يروجه البائعون، وهو عبارة عن زجاجات تحتوى على "إكسير"، يشفى من كل الأمراض! وفى الجلسات غير الرسمية التى كانت تعقد فى وقت متأخر من الليل، حيث يتم شرب الجعة، سمعت أيضًا أسطورة "جنية الأسنان"[1] فى هذا السياق.

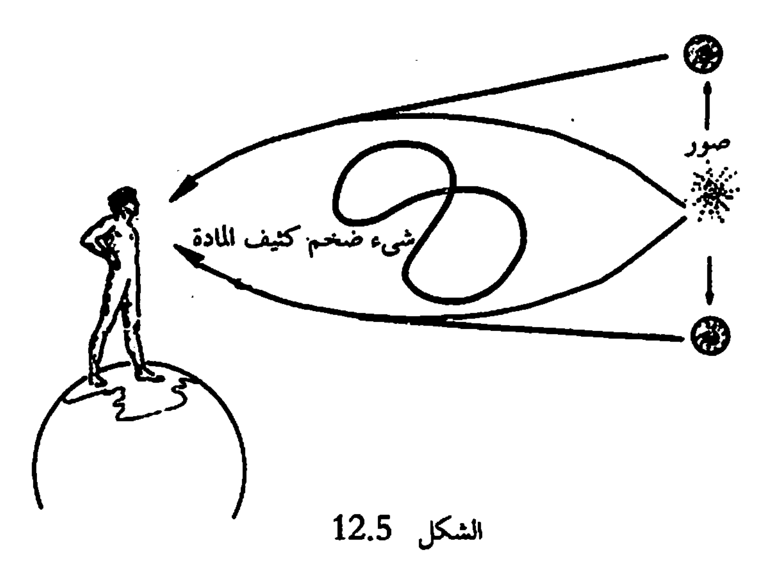
وفى هذا الصدد، ربما يتوقع شيئًا من الشكوكية، وأولئك الذين يبدون تعليقاتهم، لا تكون أقسى على نظريات الآخرين، منها على نظرياتهم ذاتها. بيد أن الأمور قد لا

(١) شخصية خيالية فى قصص الأطفال، مفادها أنه عندما يفقد الطفل إحدى أسنانه، عليه أن يضعها تحت الوسادة، إذ إن "جنية الأسنان" تزوره ليلاً أثناء نومه، وتستبدل بها أخرى جديدة. (المترجم)

تكون بهذا القدر من السوء، كما يصورها المتشككون، إذ إنه من الممكن البحث عن برهان مستقل على وجود الأوتار فى الكون المعاصر.

وثمة وسيلتان لإيجاد مثل هذا البرهان. إحداهما هو ما يطلق عليه "عدسات الجاذبية"، والتى تعتمد على التأثيرات التى تحدثها الأوتار على الضوء القادم من المجرات النائية. أما الوسيلة الأخرى، فإنها غير مباشرة - إلى حد ما - وتتضمن بحثًا عن الموجات التجاذبية التى كانت تبعث بها الأوتار فى الزمن المبكر من عمر الكون.

وتوضح عدسات الجاذبية فى الشكل (٥-١٢)، الضوء من جرم فضائى ناء ومضيء يأتى إلى كوكب الأرض حيث يتعرض إلى تداخل وإعاقة من جرم آخر بالغ الضخامة مثل مجرة نائية أو وتر كونى.



الشكل 12.5

وربما تتذكر أنه وفقًا للنظرية النسبية العامة، فإن الضوء الذى ينبعث من نجم بعيد ينحنى عندما يمر بالقرب من الشمس أو جرم فضائى ضخم آخر. وفى الموقف المبين فى الشكل، فإن الجرم المعترض سوف يحنى أشعة الضوء، كما هو موضح. ومن ثم سوف يرى شخص ما يقف فوق كوكب الأرض، صورتين للجرم الفضائى النائى،

إحداهما ينتجها الشعاع الذى فوق القمة، والأخرى يحدثها الشعاع المنحنى تحت القاع.

عدسة الجاذبية الأولى (وفيها توفر مجرة معتمة - ولكنها عادية - الكتلة المطلوبة لكى يحنى إشعاع الضوء)، تم اكتشافها فى العام ١٩٧٨، واليوم هناك ما يقرب من نحو نصف دستة من عدسات الجاذبية المعروفة. وفى كل الحالات، فإن الأجرام الفضائية المعترضة طريق إشعاعات الضوء، تكون مضيئة، ويمكن تحديدها، على الرغم من أننا لسنا فى حاجة إلى تحديد الجرم الفضائى الذى يحنى الضوء، لكى نجد عدسة جاذبية إذ إن الوتر الضخم (غير المرئى) يمكنه إنتاج نفس الصورة المزدوجة فى السماء. ومن ثم فإن عدسة الجاذبية - دون تحديد للجرم الفضائى المعترض - يمكنها أن تكون برهانًا على وجود الوتر الكونى. بل إن الوتر الكونى الطويل بمقدوره أن ينتج سلسلة من الصور المزدوجة، وهذه إشارة واضحة على وجوده.

وفى ربيع ١٩٨٦، كانت هناك عصفة إثارة موجزة، عندما أعلن الفلكيون فى جامعة (برنستون)، عن اكتشافهم لما اعتقدوا أنها صورة مزدوجة لكوازر فى كوكبة ليو (الأسد)[(١)]. ولسوء الحظ، فإن الأبحاث اللاحقة أوضحت أن ما اكتشفوه ليست صورة مزدوجة، ولكنها بالفعل صورة واحدة لكوازرين مختلفين. لذلك، فحتى الآن ليس ثمة أرصاد تبرهن على وجود عدسات جاذبية أحدثتها الأوتار الكونية، بيد أن الأبحاث تجرى على قدم وساق. والوقت مبكر جدًا أن نقول أى شىء عما يمكن أن يوجد فى نهاية الأمر.

والمجال الثانى الذى يمكن أن يتوفر فيه برهان على وجود الأوتار الكونية، هو "النجوم النابضة"[(٢)]. إن النجوم النابضة هى المنتج النهائى لموت النجوم الضخمة، وهى عبارة عن أجرام فضائية تدور بسرعة هائلة، ولا يزيد قطر الواحد منها على عدة أميال

---

(١) ألمع نجوم كوكبة الأسد هو نجم "المليك" ويبعد عنا ٧٧,٥ سنة ضوئية. (المترجم)

(٢) Pulsars نجوم نيوترونية (أى مكونة من نيوترونات)، وهى تدور حول نفسها بسرعة رهيبة وتصدر موجات راديوية وإشعاعات. (المترجم)

فقط. وتنطلق موجات راديوية من المواقع الساخنة فوق سطح النجم النابض، ويحمل دوران النجم هذه الموجات خلف كوكب الأرض، تماماً مثل الطريقة التى يرسل بها برج منارة إرشاد السفن إشعاعه. وفى كل مرة يمر الشعاع، يمكننا رؤية نبضات الموجات الراديوية، التى تتكرر على فترات منتظمة. ويكون معدل التكرار مرتفعاً، فى أى مكان، من بضع إلى عدة مئات فى الثانية الواحدة. وبالتالى، يمكن النظر إلى النجوم النابضة باعتبارها "ساعات" بالغة الدقة، فى السماء تدق بمعدل رتيب.

ولو أطلقت الأوتار الكونية قدراً كبيراً من الإشعاع التجاذبى فى الزمن المبكر من عمر الكون، إذن، فإن معظم هذا الإشعاع لابد وأن يكون موجوداً فى الوقت الحاضر. ومن ثم، ستجد النجوم النابضة نفسها فى بحر من الإشعاع التجاذبى، الذى تتدافع وتتصادم جسيماته ببعضها، بينما تنطلق الموجات الراديوية بعيداً. وهذا بدوره سوف يفرض عدم انتظام عشوائى بسيط، على توقيت النبضات، التى يتم رصدها من كوكب الأرض. وطبقاً للإحصائيات التى تجرى فى الوقت الحاضر، فإنه يجب أن يكون بمقدورنا أن نصل إلى برهان لوجود الموجات التجاذبية، عندما يمكننا تحديد فترة دوران النجوم النابضة السريعة، بأنها تبلغ عشر مرات أكثر دقة، عنها فى الوقت الحاضر. ويشعر الراصدون الفلكيون بأن مثل هذا النوع من التحسين يمكن تحقيقه، فى خلال السنوات القليلة القادمة.

وهكذا، فإنه على الرغم من اختفاء الأوتار الكونية عبر الإشعاع التجاذبى، فإن هذا ربما يبدو خداعا، فإن هناك وسائل لاختبار النظرية عن طريق الرصد. إن الأوتار الكونية ليست خداعاً، كما يلوح من أول نظرة. ولو أننا بعد الأبحاث الدقيقة والكاملة لنوع الأوتار الكونية المحددة آنفاً، لم نتوصل إلى البرهان الراسخ على وجود وتر كونى واحد، ربما كان علينا فى هذه الحالة، إعادة التفكير فى هذه الإفادة. ومع هذا، ففى الوقت الحاضر - حتى الآن - يتصور عدد كبير من العلماء أن الأوتار الكونية تمدنا بأفضل فرصة لحل مشكلة البنية المروعة للكون.

الفصل الثالث عشر

أبحاث تجريبية للمادة المظلمة

(سماع الألحان شيء رائع، ولكن تلك الأنغام غير المسموعة أكثر روعة).

(جون كيتس)

"قصيدة غنائية مكتوبة فوق جرة إغريقية".

يبدو واضحًا أن التساؤل عن طبيعة المادة المظلمة سيظل معلقًا، حتى يتمكن - بالفعل - شخص ما من الإمساك بكمية منها وتحليلها فى المختبر. ولا شك أنه شيء رائع للغاية أن تصاغ النظريات ويقوم العلماء بتوضيح أن المادة المظلمة يجب أن تسلك بهذه الطريقة أو تلك، ولكن حتى نتمكن من أن نعزل بعضًا من المادة المظلمة ونتأكد برصدها أنها تتصرف فعلاً كما هو مفروض لها، سوف يكون عدد كبير من الناس (وأنا من بينهم) غير قانعين. وحتى بالنسبة للمادة المظلمة غير المرئية، فإنه لا تقبل الحقيقة الواقعية إلا بالرؤية الفعلية.

ويمكننا الارتحال فى طريقين خلال سعينا لإيجاد برهان تجريبى، لوجود الجسيمات، التى من المفروض أنها تكون أكثر من تسعين بالمائة من كتلة الكون. أحد هذين الطريقين هو محاولة إنتاج هذه الجسيمات فى مختبرات المعجلات، أما الطريق الآخر، فيتضمن معدات يمكنها اكتشاف وتتبع المادة المظلمة، بينما تنجرف بواسطة

كوكب الأرض. وكل من الوسيلتين تتم دراستهما فى الوقت الحاضر بدقة وحماس. وما يستتبع ذلك، من وصف لبعض التجارب النموذجية، التى إما أنها استكملت أو مخطط لها أن تتم فى العقد القادم. وثمة مبادرتان للجدل، تتماشى مع تاريخ فيزياء الجسيمات فى الزمن المعاصر. إن الكثير من الجسيمات الأولية، التى نعتبر وجودها من الأمور المسلم بها، انبثقت أولاً فى إدراكنا، فى التفاعلات التى استهلتها الإشعاعات الكونية، وهى جسيمات تندفع إلى كوكب الأرض - كأمطار فضائية - من السوبرنوفات (المستعرات العظمى) فى مجرة الطريق اللبنى. وفى الوقت نفسه، جاءت الكثير من الاكتشافات البالغة الأهمية، نتيجة (للتخطيط بمهارة أو بالمصادفة) لتجارب أجريت فى داخل المعجلات الرئيسية[1].

تجارب فى المعجلات

المعجل جهاز ينتج حزمة من الجسيمات - إما بروتونات أو إلكترونات - وهى تنطلق بسرعات تقترب من سرعة الضوء. وتوجه هذه الجسيمات إلى هدف، ويمكن لأى مجموعة من الذرات أن تقوم بهذه المهمة. وفى بعض التصادمات بين الجسيمات، يتحول جزء من طاقتها إلى كتلة من الجسيمات الجديدة، تبعًا للمعادلة (ط = ك × س٢). وليس ثمة أهمية فى الاعتقاد بأنه من غير المحتمل أن ينتج جسيم معين من تلك التفاعلات، إذ لو توفرت لنا طاقة كافية فى حزمة الجسيمات وانتظرنا لفترة طويلة كافية، فإنه عاجلاً أو آجلاً، سوف نرى ما نتوقعه. والأمل الذى نتشبث به فى التجارب الحالية، أن هذا سيكون حقيقيًا فى البحث عن المادة المظلمة، كما كان فى البحث عن الجسيمات الأخرى فى الماضى.

وقبل أن نمعن النظر فى تجارب بعينها، يجب أن نأخذ بعض النقاط فى الاعتبار، أولها، أن الطاقة التى تنتقل إلى أى حزمة من الجسيمات، بواسطة أى معجل، تكون

---

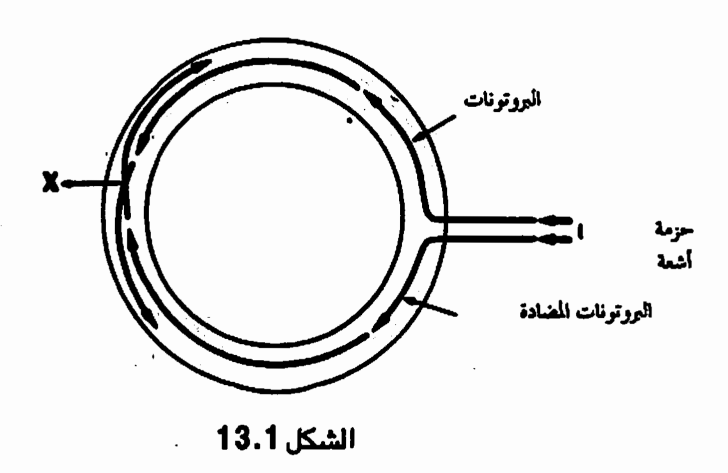
(١) فى كتابى "من الذرات إلى الكواركات" From Atoms to Quarks تتم مناقشة تاريخ تطور فيزياء الجسيمات بالإضافة إلى تصميم واستخدام المعجلات. (المؤلف)

بالضرورة محدودة. وبمعنى آخر، ثمة حد أعلى - لأى آلة - لكمية الطاقة المتاحة لتتحول إلى كتلة. ويعنى ذلك، أن أى نتيجة سلبية فى بحث ما، لا يمكن أن تؤخذ دليلا حاسما ومقنعا، بوجود نوع معين من المادة المظلمة، بل يعد فقط كإفادة، بأن الجسيم الذى خضع للبحث، له كتلة، أكبر من أقصى كتلة يمكن أن تنتجها طاقة هذه الآلة تحديدا. وهناك دائمًا إمكانية أن آلة الطاقة التى سيتم تشييدها فى المستقبل القريب، سوف تنتج بوفرة جسيمًا جديدًا لا يمكن اكتشافه بالتكنولوجيا المعاصرة.

أما النقطة الثانية، فهى أن كثيراً من المرشحات الغريبة للمادة المظلمة، والتى تمت مناقشتها فى الفصل الحادى عشر، لا يمكن إنتاجها بانفراد، ولكن يجب أن تنتج فى أزواج. وتخبرنا النظريات - على سبيل المثال - أنه لا يمكننا إنتاج فوتينو مفرد ومنعزل، فى أى تفاعل بين الجسيمات، يبدأ بارتطام إلكترون أو بروتون، بالمادة العادية، ليس بمقدورنا أن ننتج سلكترونا منفردا، بل يجب إنتاج سلكترونين، سلكترون وسلكترون مضاد. وفى الواقع، فإن هذه الازدواجية، تقسم الطاقة إلى نصفين، وهى المتوفرة للتحول إلى كتلة فى أى معجل، إذن إن الطاقة يجب أن تقسم بين كل من طرفى الزوج.

وأفضل تصميم لآلة يمكنها أن تبحث عن الجسيمات الجديدة، تتطلب ما يطلق عليه الفيزيائيون "جهاز تصادم حزم الأشعة". ويوضح الرسم التقريبى فى الشكل (١-١٣)، نموذجًا رمزيًا لهذه الآلة؛ حيث ينتج أحد المعجلات حزم من الجسيمات التى تحقk فى حلقات ضخمة، وفيها تؤدى مغناطيسات قوية، إلى أن تظل الجسيمات تدور. وتتحرك الجسيمات ذات الشحنة الكهربية الموجبة (كالبروتونات) فى اتجاه واحد، حول الحلقة. بينما تدور الجسيمات ذات الشحنة الكهربية السالبة (مثل البروتونات المضادة)، فى الاتجاه الآخر. وقد صممت الحلقة، بحيث إنه فى أماكن معينة، مثل تلك التى وضعت عليها علامة × فى الشكل، تصطدم حزمتا الجسيمات - ببعضها - بالمواجهة. فى تلك اللحظات، تكون كل الطاقة المقتسمة بين الجسيمات المعجلة، متوفرة للتحول إلى كتلة،

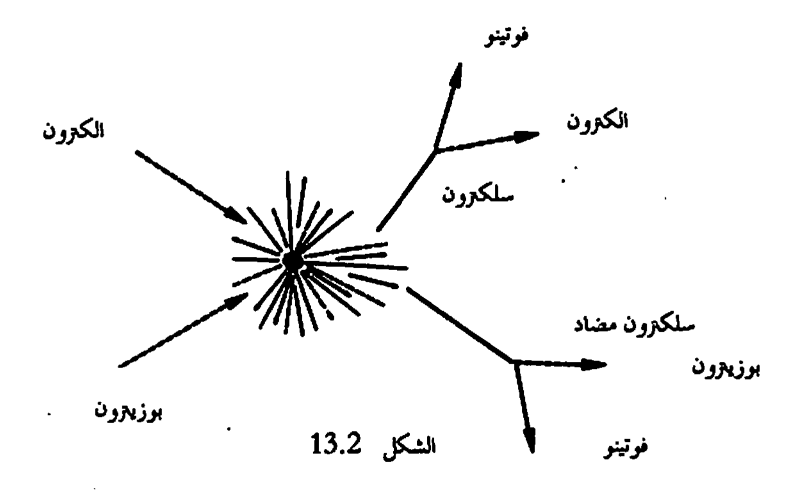
وليس ثمة منظومة ممكنة، أكثر كفاءة. وبالتالى، أنه بآلات من هذا النوع، أجريت الأبحاث الرئيسية عن المادة المظلمة.



الشكل 13.1

وأحد البحوث التى تم تنفيذها فى هذا المجال، استخدمت فيه عدد من الآلات التى يمكنها إطلاق حزم عالية الطاقة، من الإلكترونات والبوزيترونات[1]. والفكرة هى أنه عندما تصطدم هذه الجسيمات ببعضها، يمكننا أن نحصل على تفاعلات مثل تلك الموضحة فى الشكل (٢-١٣) إذ يتصادم إلكترون وبوزيترون، المنتجان من المعجل، مما يؤدى - على سبيل المثال - إلى إنتاج جسيمات نقيضة لهما، فى عالم فائق التماثل، أى سلكترون وسلكترون مضاد. وفى الفصل الحادى عشر، علمنا أن الجسيمات فائقة التماثل، تعطى دائماً طاقة، إلى أن تصبح أخف جسيمات ممكنة. ويعنى الوصول إلى هذه الحالة أن السلكترون والسلكترون المضاد، سوف يتحولان - فى نهاية الأمر - إلى فوتينوات وجسيمات عادية، كما هو مبين فى الشكل (٢-١٣) .

(١) البوزيترون هو الجسيم المضاد للإلكترون. وكل من هذين الجسيمين له نفس الكتلة، ولكن شحنتيهما مختلفتان. وإذا اصطدما ببعضهما، تتحول كتلتاهما بكاملها إلى طاقة، ويفنى الجسيمان تماما. (المؤلف)



الشكل 13.2

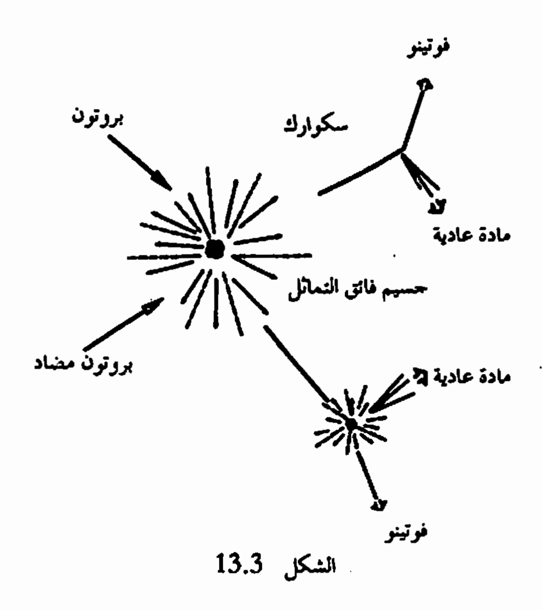
وكما أوضحت من قبل، أنه من المستحيل الكشف عن الفوتينوات مباشرة، ذلك أن تفاعلها مع المادة العادية، ضعيف للغاية، ومع هذا، يمكننا الكشف عن الإلكترون والبوزيترون اللذين ينتجان عن اضمحلال السلكترون والسلكترون المضاد. وثمة خصائص معينة، لزوج الإلكترون - بوزيترون الناتج عن عملية فيزيائية أخرى تشتمل على المادة العادية.

ومن ثم، فإنه من الممكن القول بأن الفوتينو قد أنتج، حتى لو لم نتمكن من الكشف عنه بشكل مباشر.

والأبحاث التي تدور حول التفاعلات مثل ذلك الموضح في الشكل (٢-١٣)، قد أجريت في معاهد الأبحاث بالجامعتين الأمريكيتين (كورنل) و(ستانفورد) وفي (هامبورج) بألمانيا. وحتى الآن، لم يتم التوصل إلى أي دليل في أحد التفاعلات، عن إنتاج فوتينو. من هذا، يمكن استخلاص نتيجة، مفادها أنه إذا كان الفوتينو موجوداً، سوف تكون كتلته - على أقل تقدير - أكبر بثلاث وعشرين مرة، عن كتلة البروتون. وربما لم يجد الباحثون في تجاربهم، ذلك الجسيم الذي كانوا يبحثون عنه، بيد أن النتائج التي توصلوا إليها، يمكن استخدامها، لوضع حدود لخصائص ذلك الجسيم الذي ربما يجدونه في نهاية الأمر.

ويمكن إجراء بحث مشابه للجسيمات الفائقة التماثل، بواسطة الآلات التى بمقدورها إنتاج حزم متصادمة من البروتونات والبروتونات المضادة، مثل ذلك المعجل الضخم الذى يوجد فى (المركز الأوروبى للبحوث النووية) - والمعروف اختصاراً بالحروف CERN - والذى يقع فى جنيف بسويسرا. وفى هذه الآلة الجبارة، يمكن أن يحدث تفاعلا مثل ذلك الموضح فى الشكل (٣-١٣) والذى يمكن أن ينشأ - فى الأساس - من تصادمات بالمواجهة بين البروتونات والبروتونات المضادة.

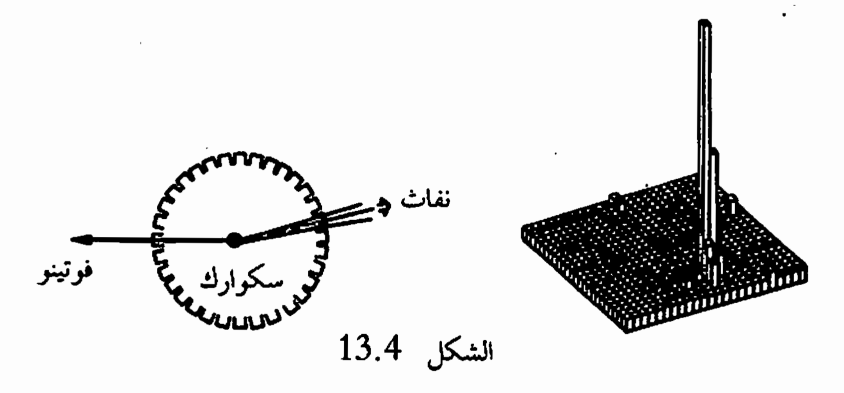
وكما كان عليه الحال فى التجارب التى أجرتها آلات الإلكترون، فإن الفوتينوات الناتجة - فى ذلك النوع المختلف من التفاعلات - لم يمكن الكشف عنها مباشرة. وما بمقدورنا أن نكتشفه، تلك الطاقة المفقودة، التى انتزعت بالتأكيد من هذين الجسيمين. ويمكننا أن نتوصل إلى فكرة ما عن هذه العملية، إذا أمكنك تخيل أنك ترتحل على طول سكوارك، على الفرع العلوى للتفاعل، كما هو موضح فى الشكل (٣-١٣) وعندما يضمحل السكوارك، إلى فوتينو ورذاذ من المادة العادية، سوف تواجه بموقف كالموضح إلى اليسار فى الشكل (٤-١٣) وسوف تأتى المادة العادية فى هيئة انبثاق نفاث ينطلق إلى اتجاه واحد، بحيث تعادل الفوتينوات التى سوف تندفع إلى الاتجاه الآخر.



الشكل 13.3

ولو أحيط السكوارك بكاشف، كما هو موضح فى الشكل (٤-١٣)، فإن انبثاق جسيمات المادة العادية، يمكن الكشف عنه، ولكن ليس الفوتينوات. فى هذه الحالة سوف يجابهنا وضع مختل التوازن، وفيه تنطلق الجسيمات إلى اليمين حيث لا تضادها - بقوة مساوية - أى جسيمات مندفعة إلى اليسار. ولو تخيلت تحريك الكاشف من مستوى كروى إلى آخر مسطح، فسوف تحصل على قراءة مثل تلك الموضحة إلى اليمين، نتوء وحيد (يطابق الانبثاق النفاث) على خلفية منخفضة.

Experimental Searches for Dark Matter



الشكل 13.4

ويؤكد (كارلو روبيا) - الحائز على جائزة نوبل، والذى يعمل فى منطقة الكاشف UA-1 فى CERN[1] - بأنه قد شاهد بعض الأحداث من ذلك النوع الموضح فى الشكل، وهناك مخطط المخرجات الكاشف، إلى اليمين فى الشكل (٤-١٣)، يتوافق مع بعض أفكاره التى أدلى بها. ومنذ ربيع العام ١٩٨٨، لم يفسر الفيزيائيون، هذه النتائج كبرهان لوجود الجسيمات فائقة التماثل؛ إذ إنه من المحتمل الحصول على إشارات

---

(١) يعنى (Underground area1) UA-1 أى (المنطقة ١ تحت الأرضية). والحروف CERN ترمز إلى (European Center for Nuclear Research) أى (المركز الأوربى للبحوث النووية، وهو المختبر الذى يقع فى جنيف بسويسرا وبالفرنسية Organisation Europeenne pour la Recherche Nucleaire. (المترجم)

– مثل تلك الموضحة فى الشكل – للتفاعلات التى تتضمن المادة العادية فحسب. وعلى سبيل المثال، فإن الجسيم الذى لم يكتشف بعد، يمكن أن يكون نيوترينو أو أى جسيم آخر، لم يسجل من قبل فى سجل آلة المختبر، والسؤال الجوهرى هو عما إذا كانت الأحداث التى شوهدت فى CERN، قد وقعت بشكل أكثر مما كان متوقعًا منها، على أساس الفرض، بأنها جرت بواسطة تفاعلات المادة العادية فقط، ولا يبدو أن هذه هى الحالة قيد الدراسة. ومع ذلك، فإن الأبحاث التى جرت فى CERN، قد أظهرت إحدى الطرق لمحاولة الكشف عن المادة المظلمة، التى تشكل معظم الكون.

الأشعة الكونية للمادة المظلمة

أجرى (بلاس كابريرا) وزملاؤه فى جامعة ستانفورد، تجاربهم على نوع جديد من الكواشف، يمكن أن يزودنا بطريقة للكشف عن المادة المظلمة مباشرة، دون الحاجة إلى تخليقها فى أحد المعجلات. ولفهم ما تتضمنه هذه التجارب الفريدة، عليك أن تتعرف على حقيقتين، تشتمل إحداهما على بنية الكون، أما الأخرى فتتضمن التكنولوجيا المتقدمة الحديثة.

والحقيقة الأولى هى، كما رأينا فى الفصل السادس، أن المادة المضيئة فى مجرة الطريق اللبنى مطمورة فى المادة المظلمة الكروية الشكل. ولا تدور المادة المظلمة بنفس معدل سرعة المجرة، ومن ثم يمكن النظر إلى كوكب الأرض، وكأنه يتحرك خلال "رياح" من المادة المظلمة.

وبنفس الطريقة عندما تقود سيارتك فى يوم هادئ، سوف تشعر بالرياح التى تنشأ نتيجة حركة سيارتك خلال الهواء. ولو توفر لنا مقياس حساس بدرجة كافية، فيجب أن يكون بمقدورنا أن نكشف عن رياح تلك المادة المظلمة. وعلى الأقل، فإن هذا هو أمل الباحثين الذين يعملون فى ذلك المشروع. والحقيقة الثانية، أنه بفضل نمو صناعة الإلكترونيات الدقيقة، على مر العقود القليلة الماضية، فقد أصبح بالإمكان تنمية

بلورات ضخمة من السيليكون النقى بشكل لا يصدق، وفى الواقع، فإن الرقاقة الإلكترونية الدقيقة، التى تعمل فى حاسوبك الشخصى أو حاسبتك، ربما بدأت حياتها كجزء من بلورة أسطوانية من السيليكون عرضها نحو ست بوصات وطولها حوالى أربعة أقدام. وتوفر مثل هذه البلورات النقية والضخمة، هى التى تعطى الباحثين التجريبيين الأمل، بأنه بمقدورهم الكشف عن المادة المظلمة، التى يتحرك كوكب الأرض من خلالها.

وفكرة الكاشف المشيد من بلورة سيليكون بسيطة للغاية. تخيل الذرات داخل البلورة مقيدة ببعضها بواسطة تنظيم معقد ومتشابك من النوابض المتباينة. وإذا حدث وتصادمت ذرة فى هذه البلورة مع جسيم برياح المادة المظلمة، فإن بعضاً من النوابض التى حول الذرة، سوف تتمدد. وبعد الاصطدام، سوف تهتز الذرة المتصادمة، وسينتقل ذلك التذبذب من ذرة إلى أخرى، بواسطة شبكة النوابض. وفى نهاية الأمر، سوف يشق ذلك الاضطراب طريقه من داخل البلورة إلى سطحها، ولو توفرت لنا كاشفات حساسة بدرجة كافية، سيكون بمقدورنا القول بأن ثمة تفاعلاً قد حدث، وبقياس وقت الوصول إلى السطوح المتباينة، يمكننا أن نحسب فى أى مكان من البلورة قد وقع.

ولا ريب أنه من السهل وصف هذه العملية نظرياً، ولكن أن نطبقها عملياً فى موقع أحد المختبرات، فهذا أمر آخر، إذ إن أى شائبة فى داخل بلورة السيليكون، سوف تغير من الطريقة التى تترتب بها "النوابض"، وفى الواقع، فإن تلك الشائبة أيضاً سوف تشتت الإشارة، بينما ترتحل إلى سطح المكعب. وذلك هو السبب فى أن هذا النوع من الكواشف، قد تم تطويره فى الوقت الحاضر، بعد أن تلقى العلماء الصناعيون درساً، فى كيفية تنمية بلورات تتسم بالضخامة والكمال.

وخطط (كابريرا) وفريقه لابتكار سلسلة من قوالب يزن كل منها كيلو جرام واحد من السيليكون مع شبكة قضبان متصالبة من الكواشف مثبتة فى كل جانب، ثم قاموا بتبريد المنظومة برمتها، إلى بضع درجات حرارية فوق الصفر المطلق[١]. ولا يخفض

(١) درجة حرارة الصفر المطلق نحو ٢٧٣ درجة مئوية تحت الصفر. (المترجم)

التبريد فقط من الحركات العشوائية داخل السيليكون، مما يجعل الإشارات عند السطح أكثر نقاء، بل إنه مكن أيضًا الباحثين التجريبيين من استخدام كاشفات بالغة الحساسية وفائقة التوصيل[1]، لقياس تلك الإشارات بدقة متناهية. وتمثلت خطتهم فى تكديس آلاف من تلك المكعبات، ومراقبة ما يحدث. وهذه الممارسة فى التكنولوجيا المتطورة، ليست أمرًا جللاً، إذ إن طنًا من أجهزة القياس الدقيقة السيليكونية، يمكن أن يوضع بشكل مريح، تحت منضدة مطبخ متوسطة الحجم.

وثمة نقاط مثيرة عديدة، يمكن مناقشتها حول هذه التجربة. فهذا النوع من التذبذبات التى أحدثتها الاصطدامات فى السيليكون، مشابهة تمامًا، لتلك التذبذبات التى تميز الموجات الصوتية فى الهواء. ومن ثم، فإن التطبيق الفنى لعملية الكشف، تتشابه مع إيجادك لكرة تنس، بمجرد سماعك لصوت ارتدادها من جدار، بعد اصطدامها به. ويمكنك القول بأن (كابريرا) خطط أن "ينصت" لصوت المادة المظلمة.

ولأنه من المتوقع أن تكون التفاعلات مع المادة المظلمة نادرة للغاية، فلن يكون من الممكن تشغيل الكاشف، وننتظر فقط حدوث تفاعل، إذ إن هناك جسيمات أخرى فى الجوار سوف تبعث بإشارات، ناهيك عن مدى الحماية المتوفرة لهذه المنظومة. وبالطبع، فإن أول مهمة للكاشف، سوف تكون الكشف عن النيوترينوات الشمسية. وللكشف عن المادة المظلمة، يجب أن يتصف الباحثون التجريبيون بالمهارة. أما عن خطتهم، فسوف تكون كالآتى:

نحن نعلم أن كوكب الأرض يدور حول الشمس، مرة كل عام. ويعنى ذلك، أنه لمدة نصف عام يجب أن يكون كوكب الأرض متخللاً رياح المادة المظلمة. أما فى نصف العام الآخر، فلابد أنه ترك هذه الرياح خلف ظهره. وبالتالى، سوف تتدفق مادة مظلمة أكثر، عبر الجهاز لمدة نصف العام الأول من العام، عنه فى النصف الآخر. وتلك هى

---

(١) مواد تسمح بمرور الكهرباء خلالها دون أى مقاومة تقريبا، وذلك فى درجات حرارة منخفضة للغاية تقترب من الصفر المطلق. (المترجم)

الإشارة السنوية، التى لها الأولوية عن أى شىء آخر، والتى يأمل الباحثون التجريبيون فى التوصل إليها.

أن يتفكر (كابريرا) فى إجراء بحث عن رياح المادة المظلمة فى هذه الأيام، لأمر مثير للاهتمام، لأنه منذ قرن مضى، قام باحثان أمريكيان آخران، بإجراء بحث - أصبح شهيراً فى الوقت الحاضر - عن نوع آخر من "الرياح". وكان الباحثان يعملان فى كليفلاند، التى أصبحت الآن تسمى (جامعة كيس وسترن ريسيرف). وقد قام هذان الباحثان، (ألبرت ميتشلسون) و(إدوارد مورلى) بإجراء تجربة مشابهة فى تخطيطها، لكاشف المادة المظلمة، الذى وصفناه تواً. فى ذلك الوقت، كان العلماء يعتقدون أن الكون تتخلله مادة تعرف باسم "الأثير"، وأن هذه المادة توفر نوعًا من الإطار للكون بأسره. وعرفت مادة الأثير بأنها "عين الإله"، وتعدد مناط الإسناد[١]، الذى تضمنته الفيزياء النيوتونية، والتى رفضها أينشتين صراحة. وافترض أن حركة كوكب الأرض خلال الأثير كانت تنتج "رياح" أثير، وأن هذه الرياح يجب أن تظهر، حتى تغير الاتجاه فى جزء من العام إلى الجزء الآخر، بسبب عملية مشابهة لتلك التى أشرنا إليها بإيجاز آنفًا، عن رياح المادة المظلمة.

وعندما أوضح (ميتشلسون) و(مورلى)، أن مثل رياح الأثير، ليس لها وجود، فإنهما بهذا قد أزاحا أحد المعوقات المفاهيمية، التى كانت تقف كحجر عثرة فى الطريق إلى التطور النهائى للنظرية النسبية.

، وشرع (ميتشلسون) و(مورلى) فى البحث عن تأثير ولكن عبثًا ما حاولا، إذ انتهى بهما الأمر، إلى عدم التوصل إلى أى شىء، وعلى جانب آخر، فإن (كابريرا)، قد بدأ تجاربه على أمل أنه لن يرى أى تغير فى "رياح" المادة المظلمة، عندما يتحرك كوكب الأرض فى مداره. وقال فى هذا الصدد: "على أية حال، حتى لو وجدنا شيئًا ما، فلن تكون لدينا أى فكرة عنه!".

---

(١) مجموعة من المحاور للإحداثيات يمكن عن طريقها تحديد موقع وحركة ما. (المترجم)

الفصل الرابع عشر

مصير الكون

(غدًا وغدًا وغدًا ...).

ويليام شكسبير

مسرحية ماكبث، الفصل الخامس، المشهد الخامس

موجز

إن الحقيقة الأكثر عجبًا، حول الطريقة التى تتطور بها المفاهيم فى علم الكون الحديث، هى أن القضايا الثانوية غير المنجزة، يبدو أنها تتآلف معًا. ومن المعتاد أن المرء يمكنه أن يعرض فكرة غريبة للغاية، ويتأكد أن هناك جهلاً كافيًا عن الكون، حتى يمنع أى تعارض مر بك، بين فكرته والمعلومات المتوفرة فى نفس المجال. تمامًا مثل الخرائط العتيقة، فإن مواقع عديدة فى الكون عليها علامة "إنها غامضة لا تقتربوا منها". لم يعد هذا حقيقيًا. فعلى سبيل المثال، إننا لا نستطيع أن نضع فروضًا حرة وسهلة عن طبيعة المادة المظلمة. إن لدينا معلومات كافية عن الطريقة التى تشكلت بها نوى الذرات، بعد ثلاث دقائق من الانفجار الأعظم، لنضع محددات صارمة على كمية المادة، التى يمكن أن تكون فى شكل (باريونات)[1]. كما أننا نعرف بمقدار كاف عن

(١) تعنى "الثقيلة" وهى تنتمى إلى عائلة الجسيمات المركبة التى تحتوى على ثلاثة كواركات. (المترجم)

البنية ذات الحجم المروع، ومن ثم، فلم يعد كافيًا إظهار أن افتراضًا معينًا عن المادة المظلمة، سوف يحل مشكلة تكوين المجرات، إذ يجب علينا أيضًا أن نوضح أن هذا الافتراض، يفسر كذلك نشأة الفراغات. وفى الحقيقة، فإننا قد وصلنا إلى النقطة التى يبدو فيها خلق الكون وتطوره وبنيته الحالية، بمثابة مشكلة مفردة دون أية آثار. ولم يعد ممكنًا أن نتعامل مع مجرد قطعة من هذه الأحجية، بل يجب علينا أن نحل المشكلة ككل، مرة واحدة. ويجب على الفيزيائيين النظريين، أن يوضحوا هذا الأمر، وأنهم عند التعامل ومعالجة مسألة البنية، لا يعبثون بالاتفاق بين النظرية والرصد والملاحظة الفعلية، التى تم الحصول عليها فى المراحل الأولى بعد الانفجار الأعظم. ومفادها أنهم لن يعتقدوا بوجود المجرات، نتيجة لإقصاء الفراغات فى الكون.

وثمة واقعة شهدتها ضمن فعاليات مؤتمر دولى عقد مؤخراً، سوف توضح هذه النقطة. استوى عالم كونيات ذائع الصيت واقفًا، بعد مجادلة بين أعضاء المؤتمر واقترح آلية ربما تسمح لكل المادة المظلمة أن تكون فى شكل بايرونات، ومع هذا تظل تنتج - تقريبًا - نفس الوفرة من غاز الهيليوم الذى نرصده فى النجوم (انظر المجادلة عن العلاقة بين هاتين الاثنتين فى الفصل التاسع). وما أن جلس عالم الكونيات هذا، حتى نهض عالم نظرى شاب فى آخر القاعة، وأوضح أنه إذا فرض وطبقت هذه الآلية، فإن وفرة الهيليوم ربما تكون صحيحة أما تقدير فيض "الليثيوم"[١] فسوف يكون خطأ. ومن ثم، فقد سحب العالم الشهير ملاحظته. والقصد من هذه الواقعة الطريفة أنه منذ عشر سنوات مضت، لم تكن لتحدث. وقتئذ كنا نحتاج إلى أرصاد وملاحظات عميقة، عن هذه الظواهر مثل وفرة الليثيوم فى الكون وحساباتنا وإحصائياتنا لم تكن قد تطورت إلى الحد أنه بإمكاننا أن نتوصل إلى تنبؤات قطعية لا لبس فيها، حول ما يجب أن تكون عليه هذه الوفرة، وبالتالى، فإن خيالنا يمكن أن يتقلص ويضيق بالكامل، ولا يمكن للمرء أن يضع قيودًا محددة عليها.

---

(١) عنصر كيميائى فلزى، وهو معدنى لين لونه أبيض لامع، يتأكسد ويتفاعل بسرعة فى الهواء والماء. (المترجم)

ونحن فى بداية الطريق لنتوصل إلى معرفة كافية عن الكون، لنضيق مدى اختياراتنا العديدة. ومن بين كل الأكوان التى يمكننا تشييدها فى أذهاننا، فأقل القليل منها، يمكن أن يبقى راسخًا بعد إجراء الاختبارات المزدوجة للملاحظة والأرصاد الفعلية، وللحسابات والإحصائيات النظرية. وسوف يأتى الوقت، عندما يطرح سؤال فى علم الكون: "كيف وصل الكون إلى ما هو عليه الآن؟"، وهل سيكون مرتبطًا من كل جوانبه بالمعرفة الراسخة والوطيدة، وأننا ربما تصادفنا صعوبة حتى لإيجاد أى حل، لا يسبب أى تباينات فى أى موقع بالكون. ولن تنتابنى الدهشة على الإطلاق. إذا حدث فى خلال عدة سنوات قادمة أن الصعوبات التى يواجهها العلماء النظريون حول إيجاد حل لمشكلة تطور الكون وبنيته، سوف تهيئ الفرصة لظهور حركة فلسفية جديدة، سوف تدعى أن الأسلوب العقلانى المتضائل للعلم الغربى، قد وصل إلى نهاية طريقه، ومن ثم يجب تجربة اتجاه جديد (من المفضل أن يكون صوفيا خفيا) يمكن أن يؤدى دوره فى مجال الأبحاث، حدث هذا فى السبعينيات من القرن العشرين، عندما وصلت فيزياء الجسيمات إلى طريق مسدود مؤقت، ومن ثم، يمكن أن يحدث نفس الشىء من جديد فى علم الكون. ولكن كما أدى تطور نظريات المجال الموحد[1] إلى التغلب على مأزق فيزياء الجسيمات فى السبعينيات من القرن العشرين فإننى أتوقع، أنه إذا ظهر هذا النوع من المشاكل فى علم الكون، فإن وسائل العلم النظرى - التى ثبتت صحتها وفاعليتها بالتجربة - كفيلة بأن تؤدى فى نهاية الأمر، إلى التعامل معها.

ذلك أنك كلما تأملت عن كثب، خريطة الكون الجديدة التى صممت فى الوقت الحاضر، فإنك سوف تتحقق أكثر، من أنها تكشف عن كون يشكل آلة مفردة ومدهشة، فكل تروسها ومحركاتها تتناغم معًا بطريقة رائعة، لتشكل وحدة متماسكة، كل شىء مرتبط ببعضه، وإدراكنا لهذه الحقيقة، ربما يكون بحق أكثر فطنة وأهمية، من التى يمكننا استخلاصها من علم الكون الجديد.

---

(١) نظرية لم تتحقق بعد، وهدفها توحيد القوى الأربعة للكون أى الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة والقوة الشديدة. (المترجم)

بعض الآراء الغريبة غير التقليدية

بعد أن أوضحنا فيما سبق أن هناك العديد من التقييدات الجديدة، على نماذجنا للكون، وأسارع لإضافة بأنه على الرغم من ذلك، فمازالت هناك مساحة واسعة لإعمال الخيال. ولبيان ذلك بمثال توضيحي، دعني أذكر بعض أساليب البحث، التي – حتى الوقت الحاضر – لم يثبت خطأها.

إن الأوتار الكونية التي تمت مناقشتها في الفصل الثاني عشر، تشكلت بتأثير الطريقة التي انفصلت بها القوة الشديدة عن القوى الأخرى، عندما كان عمر الكون ٣٥-١٠ ثوانٍ. وبمعنى آخر، أنها تكونت من نظريات التوحيد العظمى. ومؤخراً، أوضح (إد وايتن) و(جيروم أوستر ايكر) من جامعة برنستون، بأن الأوتار الكونية يمكن أن تنشأ أيضًا في نظريات التماثل الفائق، حيث إن قوة الجاذبية تتوحد تماماً مع القوى الكونية الأخرى. وفي بعض الحالات، فإن تلك الأوتار فائقة التماثل، تمتلك – على الأقل – خصائص غير عادية.

وأكثر هذه الخصائص غرابة، أنه عندما يقترب جسيم عادي، من أحد الأوتار الكونية، فإنه يمكن أن يسقط فيه، مطلقًا طاقته أثناء ذلك.

وما أن يصبح هذا الجسيم داخل الوتر، يكون قد وقع في الشرك، ويظل كامنًا في الداخل، حتى تأتي وسيلة ما خارجية تضيف طاقة للوتر، مما يؤدي إلى إطلاق سراح الجسيم. وهذه الجسيمات المحبوسة يمكنها أن تتحرك، وإذا كانت مثل الإلكترونات العادية، فإن هذه الحركة تنشئ تياراً كهربائيًا. وتظهر الحسابات والإحصائيات أن هذه الجسيمات المحبوسة، بمقدورها إنتاج تيارات كهربائية مروعة دون أن تفقد شيئًا من طاقتها، وتبلغ قوة هذه التيارات "كدريليون"[1] مرة أكثر مما يطلقه أكبر خطوط القوى الكهربائية. لو كان هناك مجال مغنطيسي في الكون المبكر، عندئذ، فإن حركة

---

(١) يساوي في النظام الأمريكي ١٠١٥ أي واحد وأمامه خمسة عشر صفرا. (المترجم)

الأوتار عبر ذلك المجال، سوف تدفع بهذه التيارات إلى مستويات عالية، إلى أن تصل إلى نقطة، ينفجر عندها الوتر الكونى، مطلقًا كل جسيماته فى اندفاع رهيب. وثمة افتراض بأن هذه الانفجارات الهائلة للأوتار فائقة التماثل، التى حدثت فى وقت مبكر من عمر الكون، هى التى كونت الفراغات التى نرصدها فى الوقت الحاضر.

ويعاب على هذه النظرية البارعة من الشوائب الناتجة عن كل نظريات الانفجار (انظر الفصل السادس)، وبالإضافة إلى هذا، فإنها لا تجيب عن بعض الأسئلة، ولعل أكثرها إثارة: من أين أتى المجال المغنطيسى الأصلى الذى ولد التيار الكهربائى؟ وحتى يتم التصدى لهذه الأسئلة، سوف يكون من الصعب اعتبار هذه الرؤية للأوتار الكونية، إلا مجرد فرض مثير للاهتمام.

وثمة تأمل آخر، يحتمل أن يصيب قدرًا من النجاح، كشف عنه وتابعه (نيل توروك) و(دافيد شرام) من جامعة شيكاغو ومختبر معجل فيرمى القومى. آخذين فى اعتبارهم أن كل نوع من المادة المظلمة بذاته. تواجهه صعوبات فى تفسير كل الظروف الأخرى التى تم تأكيدها من قبل عن الكون، وتتبنى هذه النظريات موقف "كل ما سبق"[1]. وعلى سبيل المثال، ذكرنا فى الفصل العاشر، أن المادة المظلمة الساخنة التى فى هيئة نيوترينوات ثقيلة، ليس بمقدورها تفسير كيفية تشكل المجرات، ولكن ماذا لو كان هناك نوعان من المادة المظلمة فى الكون، على شكل نيوترينوات وكذلك على هيئة أوتار كونية؟ ويمكن للأوتار الكونية أن تفسر - بطريقة مقنعة للغاية - مسألة تشكيل المجرات، أما النيوترينوات فيمكنها تفسير البنى الكونية المروعة بنفس القدر من الإقناع. فلماذا لا نأخذ النظرتين معًا، ونتحقق من أن قوة أحدهما لا تلغى ضعف الأخرى؟

بيد أن الوقت لا يزال مبكرًا للغاية، للقول بأن هذا الاقتراح سوف يؤتى ثماره، ولكن ثمة سبب أكيد للاعتقاد بأن ذلك سيحدث قريبًا. ولو تم هذا الأمر، فربما عندئذ لن تكون هناك ضرورة لأنواع المرشحات الغريبة للمادة المظلمة، التى ناقشناها فى الفصل

---

(١) أى كل النظريات السابقة عن الكون. (المترجم)

الحادى عشر. وسيكون من الممتع أن نتمكن من المضى قدمًا - وليس بمنأى - فى دراسة الجسيمات، التى نحن على بنية منها منذ زمن طويل.

ماذا سيكون مذاقها ؟

إن واحدة من أروع المتع التى يشعر بها، من يقوم بالتدريس لطلاب الكليات، أنه بين حين وآخر، يسأل أحدهم عن شىء ما، يفتح على مصراعيه آفاقًا، لم يفكر فيها الأستاذ قط، بينه وبين نفسه. حدث فى العام الماضى، أن سئمت قراءة نفس أبحاث الفصل الدراسى القديمة، أثناء تدريسى لمقرر الفيزياء التمهيدى للطلبة. ومن ثم، فكرت فى القيام بتجربة ما. أبلغت الطلبة أن يقرأوا ويعدوا تقريرًا، عن خمسة مقالات من اختيارهم، نشرت بالمجلات العلمية التى تعنى بنشر الموضوعات العلمية المبسطة لغير المتخصصين، وكان هدفى من هذا، أن أجعلهم يعتادون على فكرة الحصول بأنفسهم على المعلومات عن العلم، خارج قاعات محاضرات الجامعة.

وقرأ أحد الطلاب مقالاً رائعًا عن المادة المظلمة، كتبه (لورنس كروس) فى مجلة "العالم الأمريكي"[١]. وبعد صياغة التقرير المعتاد، قام الطالب بالتعليق بما يلى: "إن كل هذا شىء حسن للغاية، ولكن إن ما تفعله المادة المظلمة للكون، لن يكون له تأثير كبير على حياتى. إن ما أود معرفته شيئًا شخصيا أكثر. ما مذاق المادة المظلمة؟ هل ملمسها لزج؟ أيمكننى أن أسبح داخلها؟"

وأدى هذا التعليق إلى أن أتوقف وأفكر. ومثل معظم الفيزيائيين، تقبلت دون نقاش، أن المادة المظلمة تتعلق بالمجرات والعناقيد المجرية الفائقة، وليس بتجربة الحياة اليومية، ومع هذا، فإذا كانت موجودة بالفعل، فإنه من الممكن أن تجمع معًا بكميات كافية، وفى هذه الحالة نستطيع تذوقها أو القفز فيها، فما الذى ستكون عليه مثل تلك التجربة الفريدة؟

---

(١) Scientific American Magazine.

للإجابة عن هذا السؤال، عليك أن تفكر فيما يعنيه تذوق أو الإحساس بشيء ما. إن عملية التذوق تتضمن تفاعلاً كيميائيًا يتم فيه اندماج جزيئات مادة ما، مع جزيئات حليمات التذوق[1]، حيث تنتج إشارات كهربائية، تذهب إلى المخ. ويشتمل الإحساس على إثارة، بالضغط على مستقبلات متخصصة فى الجلد. ومن ثم، فإذا أردنا "تذوق" المادة المظلمة، فيجب أن يكون بمقدورها أن تشكل نفسها على هيئة ذرات وجزيئات. وإذا رغبنا أن نتحسسها، يجب أن تكون متماسكة بدرجة كافية، حتى تتمكن من بذل ضغط عليها.

وبإجراء هذا الاختبار، يمكننا فى التو أن نقيم مرشحات المادة المظلمة مثل النيوترينوات والأكسيونات، عن طريق التذوق. إنها لا تكون ذرات، وتفاعلاتها مع المادة العادية ضئيلة للغاية، إلى الحد أنها لن تحدث تأثيرًا أيًا كان، على حليمات التذوق. وفى الواقع، فإننا جميعًا "نتذوق" النيوترينوات طوال حياتنا، بمعنى أنها تمر خلال أفواهنا، بمعدل يصل إلى الملايين فى الثانية الواحدة، فى رحلتها بعيدًا عن الشمس. إنها لا تثير أيًا من التفاعلات الكيميائية الضرورية، أثناء ارتحالها. ونفس المثل ينطبق على الأكسيونات (إذا كانت موجودة). إننا "نسبح" أيضًا فى لجة النيوترينوات طوال حياتنا، بيد أنها لم يعد بمقدورها بذل ضغط، أكثر من مجرد "دغدغة" حليمات التذوق. كما لا يستطيع المرء أن "يتذوق" المادة الظل، لسبب بسيط هو أنها – على سبيل الفرض – لا تتفاعل كيميائيًا مع المادة العادية. وربما يتبادر إلى ذهنك، أنه ما دامت المادة الظل يمكن أن تتكامل معًا، إلى مواد صلبة وسائلة، إذن يمكن الإحساس بها، بيد أن هذا ليس صحيحًا. ذلك أن المادة الظل تتفاعل معنا، فقط من خلال قوة الجاذبية، وإذا قام شخص ما بوضع كتلة غير منتظمة من المادة الظل فى راحة يدك، سوف تسقط على الفور إلى أسفل، غير مسببة – تقريبًا – أى اضطراب للأنسجة. ويرجع هذا، إلى أنك عندما تمسك بشيء ما فى يدك، فإن القوى الكهربية بين الذرات التى تكون يدك، وذرات الشيء، هى

---

(١) خلايا مستديرة وبيضاوية توجد على اللسان وتشكل أعضاء حاسة التذوق. (المترجم)

التى تتغلب على قوة الجاذبية وتمنع الشىء من السقوط. ولا يمكن لهذه القوة أن توجد بين المادة الظل ويدك، ومن ثم، فإن المادة الظل لن تجد شيئًا يمنعها من السقوط.

وربما يحدث الشىء نفسه، إذا حاولت أن تنتزع جزءًا من وتر كونى، ولكن لسبب مختلف. ربما تفترض أن الوتر كثيف المادة للغاية، إلى الحد أنك إذا حاولت أن تمسك بأنشوطة منه فى يدك، فإنها سوف تسقط على الفور مخترقة يدك، تاركة خلفها ثقبًا يشير إلى الممر الذى سارت فيه، وكأنها آلة حادة استخدمت فى قطع كعكة كونية. وفى الحقيقة، فإنه حتى الكتلة الهائلة للوتر الكونى، لا تستطيع أن تتغلب على الضعف المتأصل فى القوة التجاذبية. وبينما يسقط الوتر الكونى خلال يدك، فإن القوة التى سوف يبذلها على أية ذرة ستكون أقل بكثير من القوى الكهربية العادية التى تبذلها الذرات المجاورة لها، وهى القوى التى تمسك بأنسجة يدك معًا. وسوف يسقط الوتر الكونى - دون شك - خلال يدك، بيد أن تأثيره على الذرات التى يصطدم بها، ضئيل للغاية إلى الحد أنه لا يتمكن من إزاحتها من مكانها. أما أنت فلن تشعر بأى شىء.

وهكذا، فإن بحثنا عن المادة المظلمة "حلوة المذاق!"، يذهب بنا إلى شركاء فائقى التماثل. والجسيم الأكثر "شيوعًا"، هو الفوتينو، الذى لا يشكل ذرات، على الرغم من أنه ربما يكون قادرًا على بذل ضغط أقل - إلى حد ما - من الضوء العادى. ولا تتمكن الفوتونات ولا الفيتنوات فى كثافاتها العادية، من أن تمارس ضغطًا كافيًا علينا، حتى نشعر بها. وربما يحدث الشىء نفسه للشذرات، التى تتكون بكاملها من الجسيمات فائقة التماثل.

ومع هذا، فإذا كان السلكترون مستقرًا، فيمكن أن يوجد فرضًا يناقض الفكر السائد فى الوقت الحاضر، وثمة احتمالية أن يكون شيئًا مثيرًا للاهتمام. وقد ظهرت هذه الاحتمالية، لأن سلكترونًا مستقرًا، الذى له شحنة كهربية سالبة، يمكنه أن يحل محل إلكترون أو أكثر فى داخل ذرة عادية. وبسبب الكتلة الضخمة للسلكترون، يصبح مداره مختلفًا.

عن مـدار الإلكتـرون، الذى حل مـحله. وبالتـالى، فـإن كل مـدارات الإلكتـرونات الأخرى فى الذرة، سـوف يصيبـهـا التشـوش وعدم الانتظام، وكذلك سوف تتـغير كل الخصـائص الكيميائية للمادة التى تحتوى على هذه الإلكترونات. ومن ثم، فإن مثل هذه "الذرة – الفائقة"، سوف يجرى بها مجموعة جديدة تماماً، من التفاعلات الكيميائية. إن الأطعمة التى نتناولها إذا كانت تشتمل على "كربون فائق"[1]، فلن يكون مذاقها مثل أى أطعمة عرفناها من قبل.

ولو كانت المادة الفائقة موجودة، فربما تفتح المجال لآفاق جديدة من الطهو. ومن يدرى، لعل بمقدورنا تطوير شىء ما، مذاقه كالمثلوجات (الآيس كريم) ولكن ليس به أية سعرات حرارية!

مصير الكون

مـاذا سيكون تأثير المادة المظلمـة على المصـير النهائى للكون؟ أمور عـديدة يمكن أن تقـال حـول هذا السـؤال. فى المقـام الأول – كمـا سـوف نرى بعـد قليل – أن المادة المظلمة يكاد ألا يكون لها أثر على المستقبل، من وجـهة نظر راصد فوق كوكب الأرض. بيد أنه إذا كـان الكون يمتلك حقًا، الكمية الحـرجة من المادة، فعندئذ يكون لوجود المادة المظلمـة – بالتـأكيـد – تأثير على مدى المسـتقبل البـعيد. وقـد أصبـح من المعتـاد فى المجـادلات التى مـن هذا النـوع، أن تشـتـمل على تأمل لفكرة مـفـادهـا أن الكـون يمر بفترات دورية، أى إن الانفجـار الأعظم سوف يتبعه تقلص وانهيار (الانكماش الأعظم) ثم انفجار مروع آخـر (الارتداد الأعظم). ولو كانت أفكارنا الحالية صـحيـحة، فـإن هذا لن يحدث؛ إذ إن الكون خلق بانفجـار أعظم واحد، تبعه تمدد أخذ يبطئ خـلال زمن غير محدود.

---

(١) نوع جديد من الكربون يطلق عليه "كارباين" Carbyne يكون أقوى وأرق من أى مادة أخرى. (المترجم)

ويمكننا أن نقتفى أثر تطور الكون، افتراض أن قوانين الطبيعة التى نرصدها فى الوقت الحاضر، سوف تظل دائمًا حقيقية فى المستقبل. ومن وجهة نظر مراقب فوق سطح كوكب الأرض، فإن البنية المروعة للكون تظهر اختلافًا بالغ الضآلة لمظهر السماء ليلاً، ما دامت المجرات النائية تكون - فى الغالب - خفية للعين المجردة. وسوف تستمر النجوم فى مجرتنا الطريق اللبنى - بما فيها الشمس - فى التأجج حتى تستنفد مخزونها من وقود الهيدروجين والهيليوم. وبالنسبة للشمس فإن وقودها سوف يستهلك بعد نحو أربعة بلايين سنة، ومن ثم ستتحول إلى عملاق أحمر. أى نجم منتفخ يمتد مداره إلى ما بعد مدار كوكب الزهرة. وبالنسبة لراصد فوق سطح كوكب الأرض، سوف تظهر الشمس ملء نصف السماء. وقتئذ، سوف تغلى المحيطات وتفنى كل الكائنات الحية، وإذا لم يكن لدى الجنس البشرى، الإدراك الواعى باستعمار كواكب تدور حول نجوم أخرى ستكون هذه هى نهايته.

ويتبع مرحلة العملاق الأحمر، انهيار الشمس لتصبح قزمًا أبيض. والقزم الأبيض نجم فى حجم الأرض تقريبًا، يأخذ فى التبريد ببطء، كأنه فحم كونى فقد مصدر نيرانه. ستخبو النجوم فى السماء، الواحدة تلو الأخرى، إما بانفجار مشهدى أو بصوت خافت كأنه الأنين، مثل الشمس. وإذا حدث وكان هناك راصد فوق كوكبنا، عندما يكون عمر الكون "كوادرليون" سنة (أكبر من عمرها الحالى بألف مرة). سوف تكون السماء - بالتأكيد - حالكة السواد؛ إذ إن كل النجوم تقريبًا، التى نراها فى الوقت الحاضر، سوف تكون معتمة للغاية بحيث تكون غير مرئية أو تبدو كنقاط خافتة فى محيط من الظلام.. ولم تكن المجرات النائية قط، جزءًا من المشهد الكونى الرائع الذى يتجلى فى الوقت ما بين غروب الشمس وشروقها، فيجب أيضًا انتقاصها. وسوف يستمر التبريد البطىء للرماد الكونى، لزمن طويل، ويكون المصير الوحيد، هو سقوط النجوم والغاز فى الثقب الأسود، الذى نعتقد أنه يربض فى مركز مجرة الطريق اللبنى. ومن وقت لآخر، يتصادم جسيم وضده فيفنى كلاهما الآخر، مما يضيف إلى محيط الإشعاع المتمدد. وسوف يستمر تمدد الكون، بيد أن معدله سيبطئ بشكل محسوس، مع مرور السنين.

وسوف يكون هناك معلمان فقط للإشارة إلى التغيرات التى تحدث مع تقدم الزمن، وعندما يكون عمر الكون حوالى 10^{36} عامًا – أى بعد مرور زمن طويل، على توقف كل النجوم عن التألق – سوف تضمحل البروتونات فى المادة العادية، وكل شيء سوف يتخلف فى الجوار، سواء كان رمادًا نجميًا أو كتل من الصخر، سيختفى فى عصفة من الشعاع، بعد أن انهارت ودمرت ذراتها. كما ستزول الأرض تحت أقدامنا. وبعد هذا، عندما يقترب عمر الكون من 10^{65} عامًا، فإن الثقوب السوداء التى كانت – حتى هذا الوقت – تجمع المادة فى داخلها، سوف تبدأ فى إشعاع كتلتها إلى الخارج، فى شكل طاقة عادية. ثم سرعان ما تفنى. وبعد حدوث هذا، لن يتبقى أى شيء فى الكون، مشكل عن المادة العادية، بل مجرد محيط بارد متمدد من الإشعاع، تتبعثر فيه جسيمات قليلة غريبة. أفلتت من الفناء بطريقة ما، وهى الآن تنتشر على نحو رقيق للغاية لتلتقى بجسيمات رفيقة من جديد.

وعلى الرغم من أن أى فيزيائى – على حد علمى – لم يفكر فيما قد يحدث للمادة المظلمة، بينما تتم هذه القصة فصولها، أتوقع أن المادة المظلمة سوف تمر بنوع مماثل من التطور. وربما على مر العصور، سوف تتقلص الهالات المجرية إلى أقراص، ولكن ستتكون هذه الأقراص من الفوتينوات، ولن تتمكن من تشكيل "نجوم فائقة" أو أى نوع من البنى المثيرة للاهتمام. وفى نهاية الأمر، سوف تضطر الفتينوات إلى السقوط، فى رؤى الثقوب السوداء الخاصة بها، التى سوف تشع كتلها بعيدًا.

وهكذا، ناهيك عن المادة التى تشكل الكون، فإن النهاية سوف تكون واحدة، محيط بارد متمدد من الإشعاع، اختفت فيه كل مظاهر الحياة، منذ زمن طويل.

خاتمة

يفقد كل من العلماء والشعراء قدرتهم على إيجاد الكلمات المناسبة، عندما يواجهون بمثل هذا النوع من السيناريوهات عن نهاية الكون. ويعد (ستيفن فينبرج) الحائز على جائزة نوبل، أحد المسئولين - مثل أى عالم آخر - عن فهمنا الحالى عن الطبيعة، وقد أنهى كتابه الرائع "الثلاث دقائق الأولى"[(١)] بعبارة كئيبة متشائمة "كلما بدا أن الكون يمكن إدراكه أكثر، ظهر أيضًا أنه مرتج لا معنى له". ومنذ حوالى قرن مضى، عبر الشاعر الفيكتورى (ألجرنون سوينبيرن)[(٢)] عن فكرة مشابهة فى قصيدته "حديقة بروسبرين"[(٣)]:

"من الإغراق فى حب الحياة

من أمل وخوف ينطلقان فى حرية من أسرهما،

إننا نشكر فى عيد شكر وجيز

أيًا من الأرباب الموجودين هناك

إنه لن يعيش إلى الأبد أى إنسان،

ولن يقوم الموتى من قبورهم أبدًا،

---

(١) The first three Minutes. (المترجم)

(٢) ألجرنون تشارلس سوينبيرن (١٨٣٧ - ١٩٠٩). (المترجم)

(٣) بروسبرين، إلهة الإخصاب فى الأساطير اليونانية. (المترجم)

وأنه حتى فى النهر السريع الجريان،

سوف تصل الرياح العاتية سالمة إلى البحر".

وكان يتعامل فقط مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية[1]، وليس التمدد الكونى لهابل!

ليس ثمة شك على الإطلاق، أن التأمل فى كيفية نهاية الكون، يبدو أنه يظهر الجانب الأكثر تشاؤمًا وكآبة لكل من العلماء والشعراء. وتذكرنى الاحتمالات المطروحة، بقصة من الخيال العلمى، كان لها تأثير قوى على عندما كنت يافعًا، كانت قصة تتضمن السفر عبر الزمن، حيث تتفاعل شخصيات – من حقب تاريخية مختلفة – مع بعضهم، وكان شخص ما من بينهم يظهر دائمًا فى الخلفية، شخص غامض يرتدى عباءة راهب، لم يتكلم قط حتى بلغت أحداث القصة ذروتها. وعندها أعلن مؤكدًا "إننى آخر البشر.." ثم استطرد بصوت منغم "... مهما فعلتم وحققتم من منجزات، ومدى الشدة التى واجهتكم، سوف تنتهى كل الأمور بشخصى".

ومن الصعب تخيل أى شىء أكثر تأثيرًا فى تأجيج خيال المراهق. وحتى فى هذه الأيام، مع تعاقب السنين وتطوير الحكم، كما أتمنى. عندما أعلم أن القصة لا تهتم بالبيولوجيا ولا بالفيزياء، أشعر بقوة الصورة الذهنية الأدبية.

أليس كل شىء تعلمناه عن بنية الكون، ونظريات المجال الموحد والمادة المظلمة، مجرد وسيلة لدعم مثل هذا الاعتقاد القدرى عن المستقبل؟ ولو أنه بعد بلايين السنين فى المستقبل، لن يكون ثمة حياة، ولا ذكاء، ولا ذكريات عن كفاح الإنسانية. عندئذ نتساءل: ما قيمة وهدف الوجود؟

---

(١) العلم الذى يدرس خواص انتقال الشكل الحرارى للطاقة مثل تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية كما فى محرك الاحتراق الداخلى. (المترجم)

وباعتبارى عالمًا وإنسانًا، فإنه يجب علىّ أن أجيب عن هذا التساؤل مهما كلفنى هذا من مشقة. وثمة احتمال أن تحليلى له، ربما سوف يساعدك عندما تواجهه بنفسك. وبعد مدة طويلة من التردد، أدركت فى آخر الأمر، أن القضية برمتها، يمكن أن تصاغ كمشكلة بسيطة كيف سوف أتصرف فى الغد؟ إذا أخذت فى الحسبان ما الذى أعرفه عن مستقبل الكون، كيف سيمكننى التعامل مع قرارات كل يوم، التى تشكل حياتى؟

وما توصلت إليه فى النهاية، هو الآتى: ربما يكون صحيحًا أنه بعد كواديرليون عامًا، سوف يصبح الكون محيطًا من الإشعاع البارد المتمدد. ولكن ربما لن يكون هناك شخص ما لديه معلومات عن كيفية سلوكى فى الغد، ولا أحد يتذكر ما الذى فعله كل واحد منا. بيد أن هذا لا يمت للموضوع بصلة.

ولكن الأمر الجدير بالاهتمام، أننى سوف أعرف غدًا، ما الذى فعلته، سوف أعلم إذا كنت أفضل شخص، أمكننى الوصول إليه.

وفى النهاية - يا أصدقائى - هذا كل ما يهم فى أمر المادة!.

قائمة المصطلحات العلمية

إعداد المترجم

A

Andromeda	أندروميدا (المرأة المسلسلة)
Antiproton	بروتون مضاد
Atom	ذرة
Axion	أكسيون

B

Baryon	باريون
Big Bag	الانفجار الأعظم
Big Bounce	الارتداء الأعظم
Big Crunch	الانسحاق الأعظم
Blak Hole	ثقب أسود
Bootes Constellation	كوكبة العواء
Boson	بوزون

C

Cosmic Strings	الأوتار الكونية
Cosmology	علم الكون
Coma Cluster	العنقود المجرى (الذؤابة)

Cepheid Variable	المتغير القيفاوية
Compacti Fication	الإدماج
Carrelation Function	وظيفة العلاقة السببية
Cosmic Rays	الأشعة الكونية
Critical Density	الكثافة الحدية
Closed Universe	الكون المغلق
Coupling	ارتباط

D

Dark Matter	مادة مظلمة
Dark Energy	طــاقة مظلمة
Decoupling	فك الارتباط
Deuterium	الديوتريوم
Doppler Effect	أثر دوبلر
Dark Matter Wind	ريح المــادة المظلمة

E

European Center For Nuclear Research (CERN)	المركز الأوروبى للأبحاث النووية
Electron Volt (ev)	إلكترون فولت

F

Flat Universe	الكون المسطح

G

Galaxy	مجرة
Gravitational lens	عدسات تجاذبية
Gravitational Radiation	الإشعاع التجاذبى

Galactic Rotation Curve	منحنى الدوران المجرى
Gravitational Wave	موجة تجاذبية

i

Iso thermal Model	النموذج المتحاور (متساوى الحرارة)
In Flationary Universe	الكون المتضخم

L

Light Year	سنة ضوئية
Lepton	ليبتون
Lithium	ليثيوم
Loops	أنشوطات

M

Milky Way	مجرة الطريق اللبنى
Mass Concentration	تركيز الكتلة
Missing Mass	الكتلة المفقودة
Molecule	جزىء

N

NASA	وكالة الفضاء الأمريكية
Nebulae	سديم
Neutrino	نيوترينو
Neutron	نيوترون
Nucleosynthesis	تخليق النوى
Nucleus	نـواة

O

Oscillations	تذبذبات

P

Particules	جسيمات
Photino	فوتينو
Plasma	بلازمـا
Positron	بوزيترون
Protogalaxy	المجرة الأولية
Pulsar	نجم نابض
Parallax	تغير ظاهرى فى المــوقع الشىء المـرصود

Q

Quasar	كوازر (شبه نجم)
Quantum Mechanics	ميكانيكا الكم
Quark	كوارك

R

Red Giant	عملاق أحمـر
Red Shift	الانحياز نحـو الأحمـر

S

Super Galaxy	مجرة قائمة
Super Galaxies Cluster	عنقود مجرات قائمة
Super Strings	الأوتار الفائقة
Spiral Galaxies	المجرات الحلزونية (اللولبية)
Solar Oscillations	التذبذبات الشمسية

Supersymmetry	التماثل الفائق
Solar Seismology	الزلزال الشمسى
Space - time	الزمكان
Supernovae	السوبر نوفا (المستعمر الأعظم)
Shadow Universe	الكون الظل

T

Theory of Everything (TOE) Turbulence	نظرية لكل شيء

U

Universe	كون
Unified Field theory	نظرية المجال الموحد

V

Void	فراغ

W

WIMP	الجسيمات الكتلية ضعيفة التفاعل
White Dwarf	قزم أبيض

المؤلف فى سطور :

جيمس تريفل

بروفسور فى الفيزياء - جامعة (جورج ماسون) - الولايات المتحدة.

- ولد فى شيكاغو - الولايات المتحدة، وتعلم فى مدارسها، وحصل على شهادة بكالوريوس الفيزياء فى جامعة إلينوى، ثم التحق بجامعة أكسفورد، وحصل فيها على درجة الماجستير فى الفيزياء وفلسفة العلم، وبعدها حصل على درجة دكتوراه تخصص الفيزياء النظرية فى جامعة ستانفورد.

- كتب العديد من الكتب والمقالات العلمية عن الكون والفيزياء. وبلغ عدد الكتب التى قام بتأليفها أكثر من ثلاثين كتابًا وعشرات المقالات فى كبرى المجلات العلمية العالمية، كذلك ألقى العديد من المحاضرات العلمية عن الكون والفيزياء، كما أنه عضو ومستشار فى الكثير من المنظمات العلمية العالمية مثل: الجمعية الفيزيائية الأمريكية والجمعية الأمريكية لتقدم العلوم.

- حصل على العديد من الجوائز من منظمات علمية عالمية مثل المعهد الأمريكى للفيزياء، وذلك لنشاطه فى تقدم الإعلام العلمى بأحدث المقالات فى الكون والفيزياء، ولأسلوبه المتفرد فى تبسيط العلوم خاصة فى علم الجسيمات دون الذرية وعلم الكون وعلوم الأرض والفيزياء الطبية (أبحاث عن السرطان).

- من مؤلفاته التى لاقت شهرة واسعة، (قاموس الثقافة العلمية) و(هل أنت فريد فى الكون) و(تأملات عند غروب الشمس) و(لحظة الخلق) و(هل نحن وحدنا فى الكون) و(من الذرات إلى الكواركات) و(الحياة فى الفضاء) و(ما العلم؟)، وفى مقابلة تلفازية حديثة، يعترف بأن أفكاره تتشكل بتأثير قراءة الخيال العلمى الجاد، خاصة الذى يكتبه الكاتب الشهير (إسحق أزيموف) وتحديدا كتابه (الأساس) وقصصه القصيرة عن الروبوتات.

المترجم فى سطور :

رؤوف وصفى صبحى

- ولد فى القاهرة.
- درس فى جامعات مصر والعراق والكويت.
- حصل على جائزة تبسيط العلوم - أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا. وجائزة الثقافة العلمية - أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا.
- عضو اتحاد الكتاب.
- ترجم العديد من الكتب العلمية ، وفى مجال الخيال العلمى منها: «الروبوت» و«الحاسب الآلى» و«كوكب الأرض» و«مذنب هالى» (مؤسسة الكويت للتقدم العلمى) ومسرحيات من الخيال العلمى (وزارة الإعلام - الكويت). وقام بترجمة « ثلاث رؤى للمستقبل » و «حرب العوالم» و«الرجل الخفى» و«بشر كالأرباب» والقصص القصيدة الكاملة "(هـ .ج. ويلز) والقصص الكاملة (راى برادبورى) (الجزء الأول). للمركز القومى للترجمة، وكذلك ترجمة مقالات علمية فى مجلة الثقافة العالمية.
- شارك فى العديد من الندوات منها «ندوة الخيال العلمى» وقام بإعداد البرنامج التليفزيونى «سؤال وجواب» وتقديمه فى تليفزيون الكويت و «الخيال العلمى» (إذاعة الكويت).
- نشرت مقالاته وقصصه فى عدد كبير من الصحف والمجلات العربية، منها جريدة الأهرام وجريدة الأخبار ومجلة العلم (مصر)، ومجلة العربى الكويتية ومجلة «التقدم العلمى» مؤسسة الكويت للتقدم العلمى، ومجلة «دبى الثقافية» الإمارات.

- أحد رواد أدب الخيال العلمى والثقافية العلمية فى الوطن العربى.
- المنسق العام لرابطة كتاب الخيال العلمى العرب.
- حاصل على شهادة وميدالية من نقابة المعلمين.
- صدر له عن مؤسسة دار المعارف عدد من الكتب منها: المدن الكوكبية – الأقمار الصناعية – الروبوتات – كابتن الفضاء – توب كابى – متحف اللوفر.
- صدر له فى سلسلة مكتبة الأسرة: "ثلاث رؤى للمستقبل" و "طاقة المستقبل.

التصحيح اللغوى: محمود مبروك
الإشـراف الفنى : حسن كامل





ينقسم كتاب (الجانب المظلم للكون) إلى أربعة عشر فصلاً، يتحدث فيها الكاتب عن الكون المتمدد ويشرح آراء "إدوين هابل" فى هذا الصدد، وكذلك يتطرق إلى اكتشاف المجرات وكيفية تكونها، فى التاريخ المبكر للكون، ثم يسهب فى شرح الانفجار الأعظم الذى بدأ به خلق الكون، وكيفية حدوثه منذ نحو 13.7 بليون سنة، بالإضافة إلى الجسيمات والقوى التى سادت فى ذلك الزمن الموغل فى القدم، وكيفية اتحاد تلك الجسيمات دون الذرية، واقتران القوى وتفككها، ثم يناقش الظواهر الكونية المثيرة والمعقدة، ويقدم لها تفسيرًا مبسطًا للغاية، مثل الأوتار الكونية والفقاقيع الكونية والعناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة وغيرها.

ويخلص من كل هذا، ليتطرق إلى موضوع "المادة المظلمة" التى تكون أكثر من تسعين بالمئة من حجم الكون، وهى غير مرئية لنا، ولكننا نتعرف عليها من آثارها على المجرات (جزر الكون الكبرى)، ويتساءل الكاتب- المتخصص فى تبسيط العلوم- هل من الممكن أن تقدم لنا المادة المظلمة، حلاً لمشكلة بنية الكون المروعة، ومن ثم نتمكن من التعرف على أهم الظواهر الكونية الغامضة التى لا نجد لها تفسيرًا حتى الوقت الحاضر، على الرغم من التقدم المذهل فى علمى الفلك والكون. إن كتاب (الجانب المظلم للكون) إضافة متميزة وفريدة للمكتبة العلمية العربية.

تصميم الغلاف: أيمن أمين